

# 柏崎刈羽原子力発電所 6号炉及び7号炉

## 基準地震動の策定について コメント回答

平成27年10月2日  
東京電力株式会社

# 本日のご説明内容

第218回審査会合（平成27年4月10日）  
第248回審査会合（平成27年7月10日）  
敷地周辺陸域の地質・地質構造

## コメント内容

①「孤立した短い活断層」, 「副次的な断層」  
「連動」の扱いについて

第194回審査会合（平成27年2月13日）  
敷地における地震波の増幅特性について  
第223回審査会合（平成27年4月24日）  
基準地震動の策定について

②検討用地震の選定プロセスにおける「被害地震」の調査, 「地震発生層」の設定について  
③不確かさの考え方について  
④地震動評価手法の妥当性について

## 本日の主なご説明内容

### 1. 地震発生層の設定

- ・防災科研J-SHISの地震基盤深さのコンター図などデータを追加するとともに、敷地の地震動評価に与える影響の観点から整理してご説明。（②に関連）

### 2. 検討用地震の選定

- ・被害地震の調査内容を詳細にご説明。また、孤立した短い活断層・副次的な断層の扱い、連動を考慮した検討用地震の選定についてご説明。（①, ②に関連）

### 3. F-B断層による地震の地震動評価

- ・震源モデルの設定、不確かさの考え方についてご説明。（③に関連）
- ・また、F-B断層による地震の地震動評価結果を示したうえで、中越沖地震のシミュレーション解析等により評価の妥当性をご説明。（④に関連）

### 4. 長岡平野西縁断層帯による地震の地震動評価

- ・震源モデルの設定、不確かさの考え方についてご説明。（③に関連）
- ・また、長岡平野西縁断層帯による地震の地震動評価結果を示したうえで、中越地震のシミュレーション解析等により評価の妥当性をご説明。（④に関連）

# コメント一覧

		内容	説明概要	ページ
1	H27 4/24	地震発生層の上端・下端について、断層の途中で速度構造が変わる場合にどのような考えでモデルを設定しているのか説明すること。	<ul style="list-style-type: none"> <li>防災科研J-SHISの地震基盤深さのコンター図によると敷地周辺の活断層については、想定される断層面は、概ね基盤深さが一様な領域に位置しており、速度構造の変化が認められる部分は敷地から遠い断層であり、敷地の地震動評価に与える影響が小さいことをご説明。</li> </ul>	5~19
2	H27 4/24	コンラッド面については、新しい情報を確認したうえで、適切な表現に見直すこと。	<ul style="list-style-type: none"> <li>Katsumata(2010)の検討結果など、新しい知見を反映するとともに、適切な表現に修正。</li> </ul>	13
3	H27 4/10	地震動評価における孤立した短い活断層の扱いについて説明すること。	<ul style="list-style-type: none"> <li>審査ガイドの記載を整理したうえで、敷地周辺の活断層に対し、長さ15km以下の活断層を孤立した短い活断層として扱っている旨をご説明。</li> <li>また、断層面を想定して求めた等価震源距離を用い、同規模で等価震源距離が最も近い片貝断層による地震で代表させていることをご説明。</li> </ul>	23~27
4	H27 7/10	地震動評価における副次的な断層の扱いについて説明すること。	<ul style="list-style-type: none"> <li>想定される断層面と地震発生層の位置関係を整理するとともに、強震動予測シビの枠組みにおいて、地震発生層より浅い部分の影響は無いと考えられること、新しい知見として動力学的断層モデルによる検討においても、逆断層による地震では浅部の影響は小さいとされていることをご説明。</li> </ul>	30~38
5	H27 4/24	宇佐美ほか(2013)を引用した際の影響について、敷地における揺れが震度5弱(震度V)程度以上と推定される地震の選定プロセス・エビデンスを明示しながら説明すること。	<ul style="list-style-type: none"> <li>宇佐美ほか(2013)を引用した際でも、選定される地震に相違が無いことを、選定プロセス・エビデンスとともにご説明。</li> </ul>	39~47
6	H27 4/10 4/24	断層長さの不確かさを考慮した場合を基本として、その他の不確かさを考慮する必要がないか、不確かさの考え方について説明すること。	<ul style="list-style-type: none"> <li>不確かさの考え方について整理してご説明。</li> <li>海域の地震の検討用地震であるF-B断層による地震については、地質調査結果として断層長さ36kmが条件として得られた場合の、強震動予測シビに基づく震源モデルの設定及び不確かさの影響について検討した結果をご説明。</li> <li>陸域の地震については、長岡平野西縁断層帯による地震を検討用地震とすることに見直し。</li> </ul>	58~74 97~103 133~142
7	H27 4/24	不確かさの考え方に関して、その根拠と妥当性について詳細に説明すること。	<ul style="list-style-type: none"> <li>不確かさの考え方について整理してご説明。</li> </ul>	58~74 97~103 133~142
8	H27 2/13 4/24	経験的グリーン関数法により評価を実施しているが、統計的グリーン関数法や中越沖地震時の要因分析に用いた地下構造モデルを利用した評価を行うなど、現状の地震動評価の妥当性を示すための検討を行うこと。	<ul style="list-style-type: none"> <li>統計的グリーン関数法による評価結果等を示し、現状の地震動評価結果の妥当性についてご説明。</li> </ul>	123~127 182~185
9	H27 4/24	要素地震の加速度フーリエスペクトル振幅において、理論値と観測値のフィッティングについて解説を加えること。	<ul style="list-style-type: none"> <li>震源特性、伝播特性、サイト特性を分離するスペクトルインバージョンを実施し、抽出した震源特性を用いて、適切に要素地震の見積もりが行われていることをご説明。</li> </ul>	113,114 119~121 192~199

# コメント一覧

		内容	説明概要	ページ
10	H27 2/13	他機関の知見を引用しているが、中越沖地震について提案されている他のモデルを整理した上で評価に用いているモデルの選定理由について説明すること。	<ul style="list-style-type: none"> <li>中越沖地震に関する震源断層モデルを整理し、代表的な入倉ほか(2008)やKamae and Kawabe(2008)と大きな相違が無いことを確認したうえで、芝(2008)による震源モデルを採用したことをご説明。</li> </ul>	77~85
11	H27 4/24	F-B断層による地震の評価に用いる要素地震について、第3アスペリティの位置での地震の発生状況及び記録の取得状況を整理し、要素地震となりうる記録の有無について示すこと。	<ul style="list-style-type: none"> <li>中越沖地震の第3アスペリティの位置付近で発生した地震について記録の取得状況を整理した結果をご説明。</li> <li>また、第3アスペリティの位置付近で発生した地震を要素地震とした中越沖地震のシミュレーション解析結果、F-B断層による地震の地震動評価結果についてご説明。</li> </ul>	109~118
12	H27 4/24	中越沖地震のシミュレーション解析において、要素地震の補正係数を考慮してもUD方向が過小評価になっている可能性があることについてどう考えるか説明すること。	<ul style="list-style-type: none"> <li>第3アスペリティの位置付近で発生した地震を要素地震とした中越沖地震のシミュレーション解析結果では、UD方向の再現性が改善されること、同様の要素地震を採用したF-B断層による地震の地震動評価結果は基準地震動を包絡したスペクトル及び基準地震動Ss-1を概ね下回ることをご説明。</li> </ul>	109~118
13	H27 4/24	神原ほか(2006)の内容について詳細に説明すること。	<ul style="list-style-type: none"> <li>神原ほか(2006)の内容についてご説明。</li> </ul>	176,177
14	H27 4/24	長大な逆断層の断層パラメータの設定方法については、最新知見である壇ほか(2015)を盛り込んで取り纏めること。	<ul style="list-style-type: none"> <li>壇ほか(2015)による手法を用いて設定したパラメータについて記載を追記。</li> </ul>	143~149
15	H27 4/24	片貝断層の評価で2つの要素地震を用いているが、複数の要素地震を用いているような研究事例があれば示すこと。	<ul style="list-style-type: none"> <li>2つ以上の要素地震を用いて評価されている事例をご提示。</li> <li>また、1つの要素地震を用いたケース、角田・弥彦断層及び気比ノ宮断層に異なる要素地震を用いたケースなど要素地震の影響について確認した結果をご説明。</li> </ul>	190,191 200~208

# 目次

1. 地震発生層の設定	P. 5
2. 検討用地震の選定	P. 21
2.1 孤立した短い活断層	P. 23
2.2 副次的な断層等	P. 30
2.3 被害地震の選定	P. 39
2.4 検討用地震の選定	P. 48
3. F-B断層による地震の地震動評価	P. 55
3.1 震源モデルの設定と不確かさの考え方	P. 60
3.2 応答スペクトルに基づく地震動評価	P. 89
3.3 断層モデルを用いた手法による地震動評価	P. 95
3.4 評価の妥当性に関する検討	P.104
4. 長岡平野西縁断層帯による地震の地震動評価	P.130
4.1 震源モデルの設定と不確かさの考え方	P.135
4.2 応答スペクトルに基づく地震動評価	P.158
4.3 断層モデルを用いた手法による地震動評価	P.163
4.4 評価の妥当性に関する検討	P.173
5. 基準地震動の策定	P.213
6. 佐渡島南方～魚津断層帯による地震の地震動評価	P.224

## 1. 地震発生層の設定

## 2. 検討用地震の選定

- 2.1 孤立した短い活断層
- 2.2 副次的な断層等
- 2.3 被害地震の選定
- 2.4 検討用地震の選定

## 3. F-B断層による地震の地震動評価

- 3.1 震源モデルの設定と不確かさの考え方
- 3.2 応答スペクトルに基づく地震動評価
- 3.3 断層モデルを用いた手法による地震動評価
- 3.4 評価の妥当性に関する検討

## 4. 長岡平野西縁断層帯による地震の地震動評価

- 4.1 震源モデルの設定と不確かさの考え方
- 4.2 応答スペクトルに基づく地震動評価
- 4.3 断層モデルを用いた手法による地震動評価
- 4.4 評価の妥当性に関する検討

## 5. 基準地震動の策定

## 6. 佐渡島南方～魚津断層帯による地震の地震動評価

# 1. 地震発生層の設定

		内容	説明概要	ページ
1	H27 4/24	地震発生層の上端・下端について、断層の途中で速度構造が変わる場合にどのような考えでモデルを設定しているのか説明すること。	・防災科研J-SHISの地震基盤深さのコンター図によると敷地周辺の活断層については、想定される断層面は、概ね基盤深さが一様な領域に位置しており、速度構造の変化が認められる部分は敷地から遠い断層であり、敷地の地震動評価に与える影響が小さいことをご説明。	5~19
2	H27 4/24	コンラッド面については、新しい情報を確認したうえで、適切な表現に見直すこと。	・Katsumata(2010)の検討結果など、新しい知見を反映するとともに、適切な表現に修正。	13

# 地震発生層の設定について

- 地震発生層の設定にあたっては、中越沖地震の余震の震源分布、速度構造、コンラッド面深さ等を総合的に判断して設定。
- 上端深さは、速度構造を重視し、下端深さは、中越沖地震の余震の震源分布、ひずみ集中帯プロジェクトにおける海域における自然地震観測による知見を重視して設定。

上端深さ：6km ， 下端深さ：17km

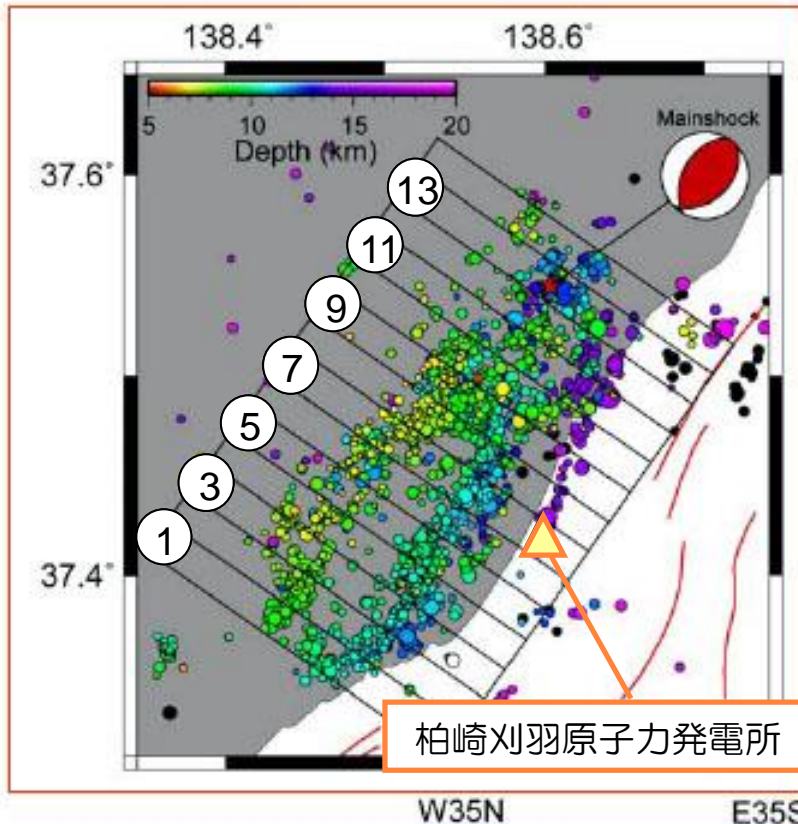
- なお、防災科学技術研究所（以下、「防災科研」）J-SHIS地震ハザードステーションの地震基盤深さのカウンター図によると、敷地周辺で想定される断層面が位置する領域では、地震基盤深さが一様であることから一律の上端深さ、下端深さを仮定する。一方、敷地からやや遠い一部の領域では、浅くなる箇所も認められるものの、敷地への地震動評価に与える影響が小さいことを踏まえて、敷地周辺と同様一律の上端深さ、下端深さを仮定して評価を行う。

No.	項 目	上端深さ (km)	下端深さ (km)
1	海域・陸域臨時地震計観測網に基づく中越沖地震の精密余震分布	6	17
2	ひずみ集中帯プロジェクト	1.屈折法地震探査結果	6~9
		2.海域における自然地震観測	6
3	Kato et al.(2009)によるP波速度構造	6~	—
4	水平／上下スペクトル振幅比の逆解析による敷地地盤の速度構造モデル	5.9	—
5	コンラッド面深さ	—	15~16

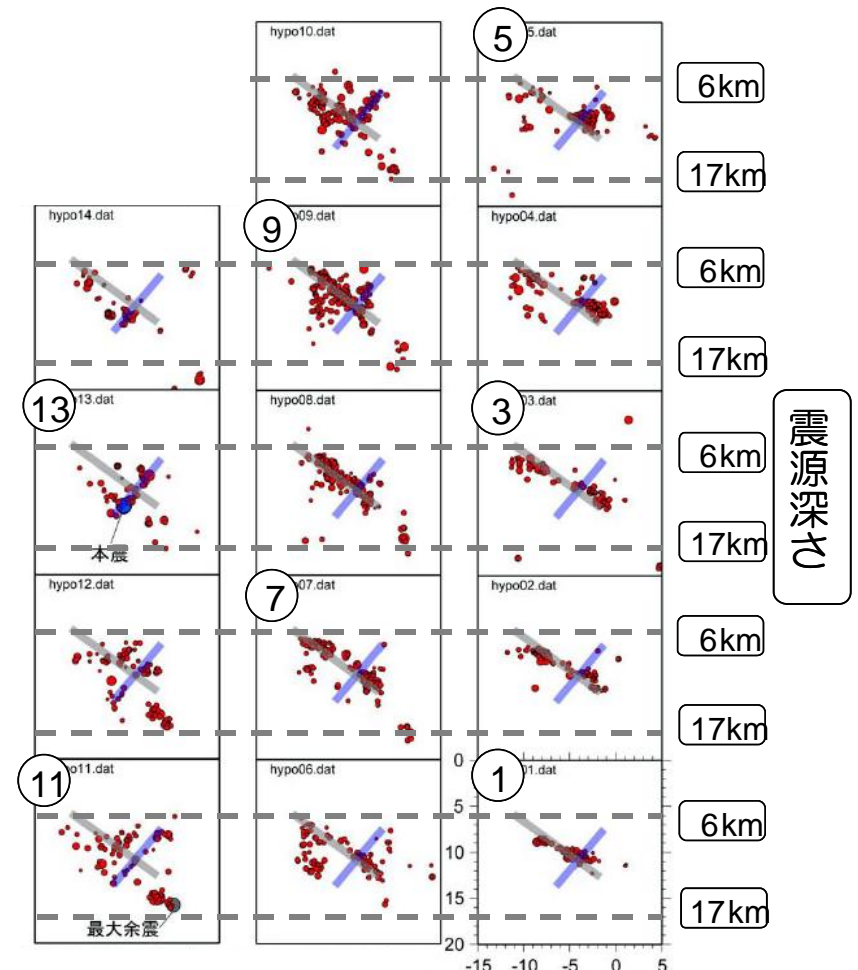


# No.1 海域・陸域臨時地震計観測網に基づく中越沖地震の精密余震分布

- 中越沖地震の本震以降に海底に設置されたOBS(Ocean Bottom Seismograph)の記録に基づいて再決定された精密余震分布によると震源深さは約6km~17kmに求められている。



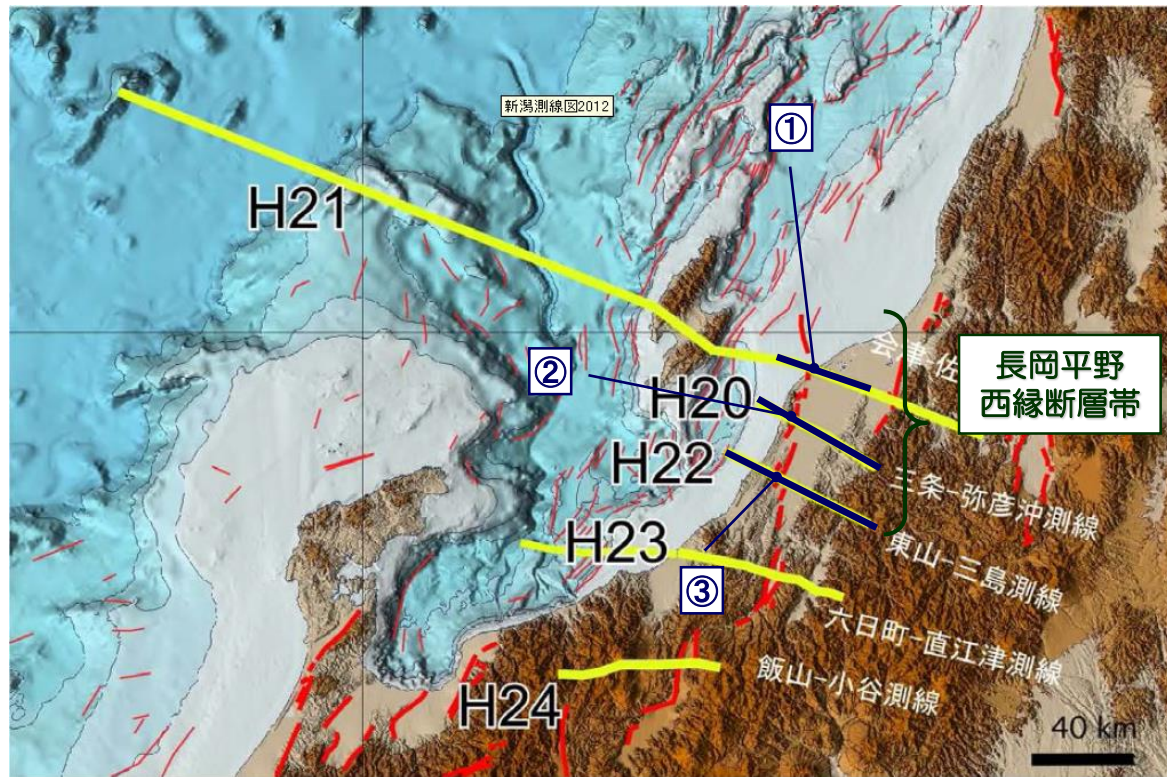
東京大学地震研究所資料（平成20年1月11日地震調査委員会）に加筆  
 中越沖地震の余震  
 (2007/7/16~2007/8/29)



地震調査研究推進本部（以下、「地震本部」）(2008)より抜粋（一部加筆・修正）

# No.2 ひずみ集中帯プロジェクト 1. 屈折法地震探査結果

- 文部科学省の科学技術試験研究委託事業による『ひずみ集中帯の重点的調査観測・研究』（以下、「ひずみ集中帯プロジェクト」）において、陸域及び海域の反射法・屈折法地震探査等が実施されている。
- 平成20～22年度には、長岡平野西縁断層帯を横断する測線で探査が実施されている。



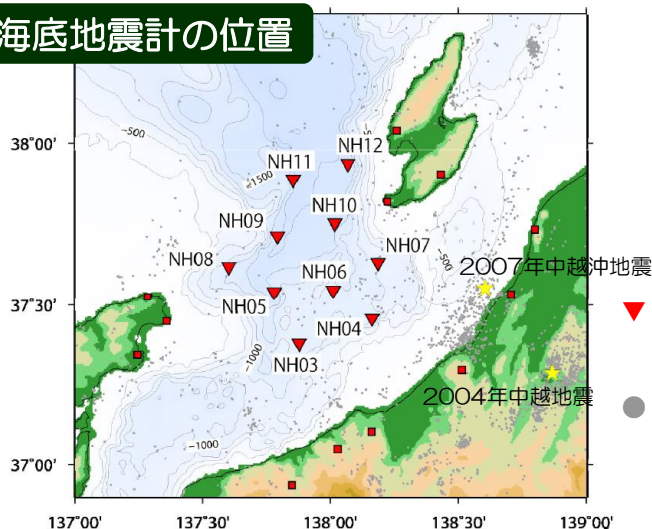
防災科研(2013)より抜粋（一部加筆・修正）

	防災科研(2009～2011)による、屈折法地震探査結果に関する記載
①	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ 越後平野西部区間では、越後平野下にはほぼ平行構造を示す厚い堆積物が分布</li> <li>■ P波速度5.4km/s層の上面は地表下8km</li> </ul>
②	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ 調査地域は層厚6kmを超える厚い新第三系（P波速度&lt;5.4km/s）の堆積層が分布</li> </ul>
③	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ 先新第三系上面と推定しているP波速度5.3km/sの等速度線は西側に向かって、深度を増大させている。</li> <li>■ P波速度5.3km/sの等速度線は西山丘陵下で、8-9kmに分布</li> </ul>

# No.2 ひずみ集中帯プロジェクト 2. 海域における自然地震観測

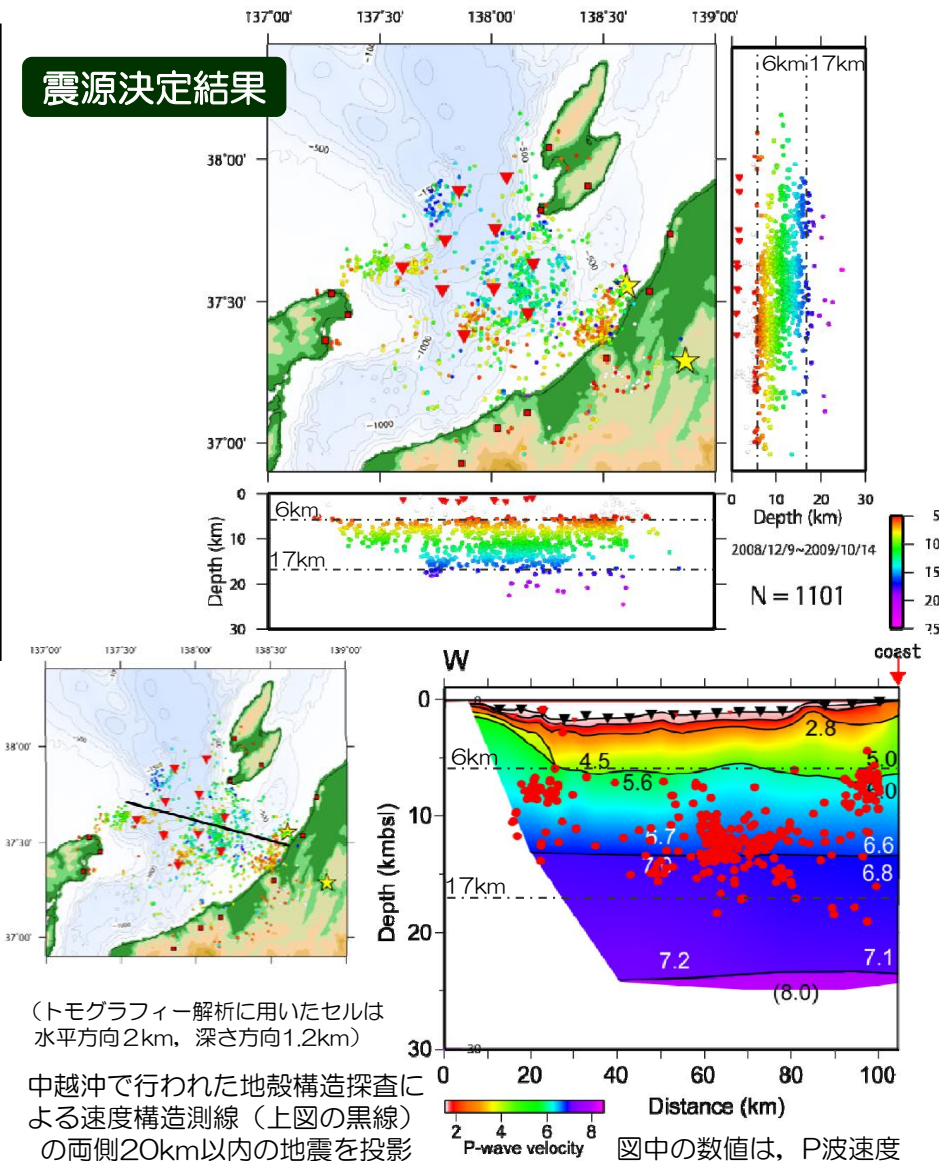
- ひずみ集中帯プロジェクトにおいて、海域における自然地震観測が実施されている。
- この中で、海域における詳細な震源分布などを明らかとする目的で、上越沖において長期観測型海底地震計（10台）による観測を実施。  
（期間：平成20年12月～平成21年10月）
- 海底地震計で得られたデータ及び同期間に陸域観測点で得られたデータを併せて処理し、正確な震源分布を求めている。
- 得られた微小地震分布によると、多くの地震は深さ6km以深で発生。
- 速度構造においても、 $V_p=5.6\sim 6\text{km/s}$ 層の深さは6kmとほぼ一様。

## 海底地震計の位置



- ▼：長期観測型海底地震計設置位置
- ：観測期間と同じ期間に気象庁が決定した地震

## 震源決定結果



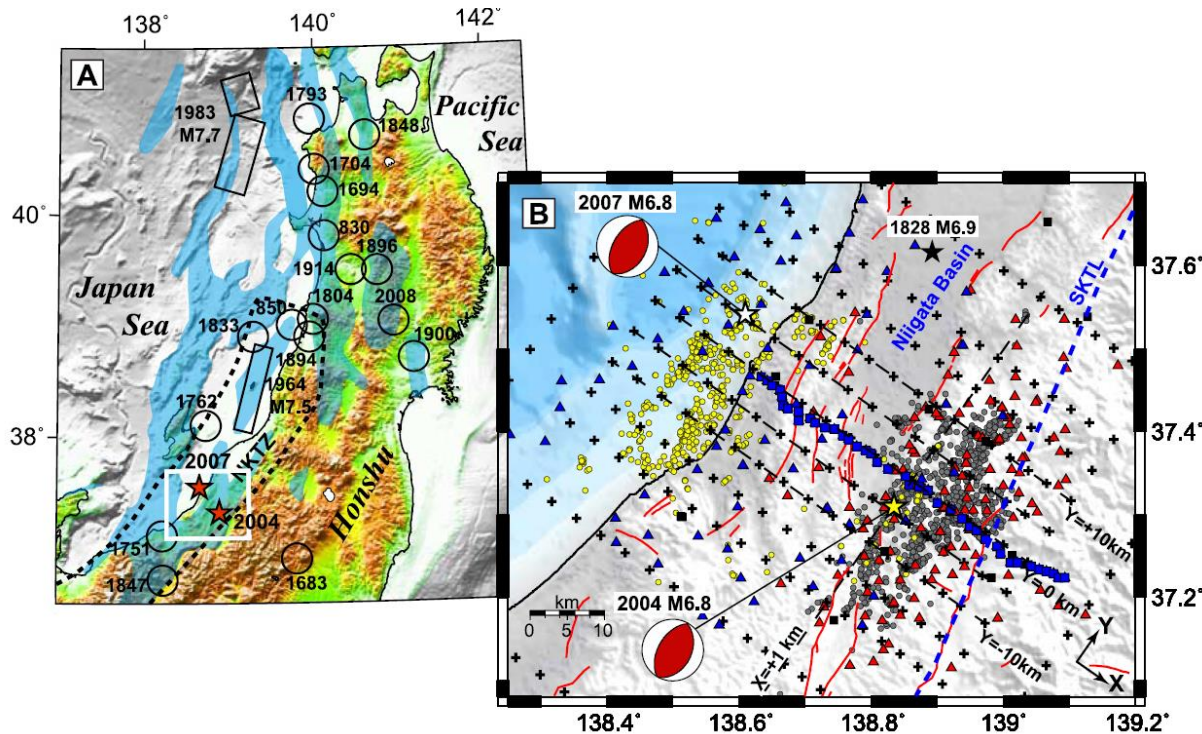
（トモグラフィ解析に用いたセルは水平方向2km、深さ方向1.2km）

中越沖で行われた地殻構造探査による速度構造測線（上図の黒線）の両側20km以内の地震を投影

防災科研(2010, 2011)より抜粋（一部加筆・修正）

# No.3 Kato et al. (2009)によるP波速度構造

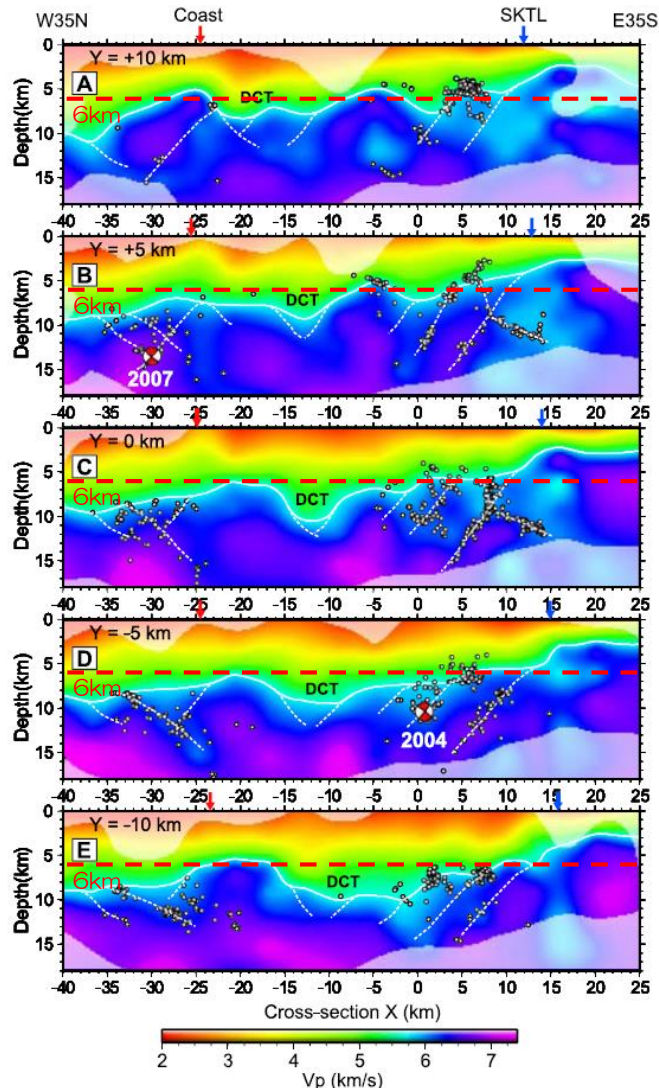
- 稠密観測データを用いたトモグラフィ解析を実施し、3次元地震波速度構造と震源分布の推定を実施している。
- 地震発生層の上端に概ね対応すると考えられる $V_p=5.7\text{km/s}$ 相当の等速度線は、西側に向かって深くなっており、概ね6kmを超える傾向にある。



- 稠密アレイ観測点 (2007年), ■ 定常観測点, ▲ 中越地震余震観測点 (2004年)
- ▲ 中越沖地震余震観測点 (2007年), ● 2004年中越地震の余震の震央分布
- 2007年中越沖地震の余震の震央分布
- +

地震観測点の分布と再決定された2004年中越地震・2007年中越沖地震の余震の震央分布

Kato et al. (2009)より抜粋 (一部加筆・修正)

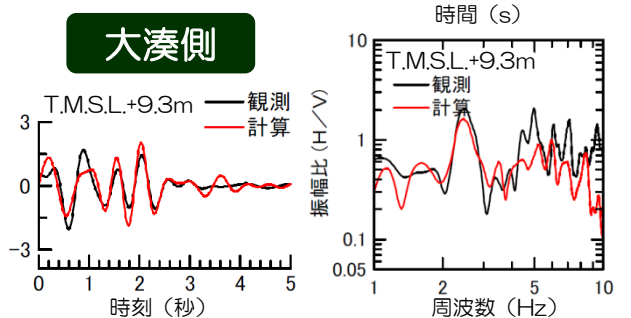
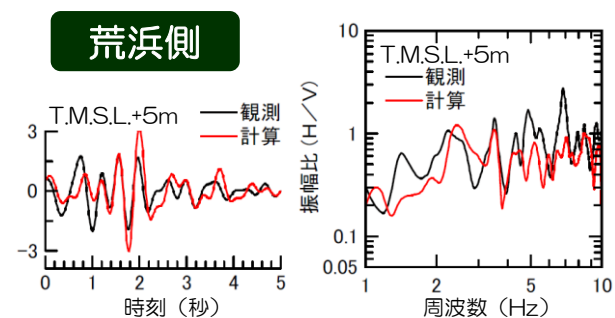
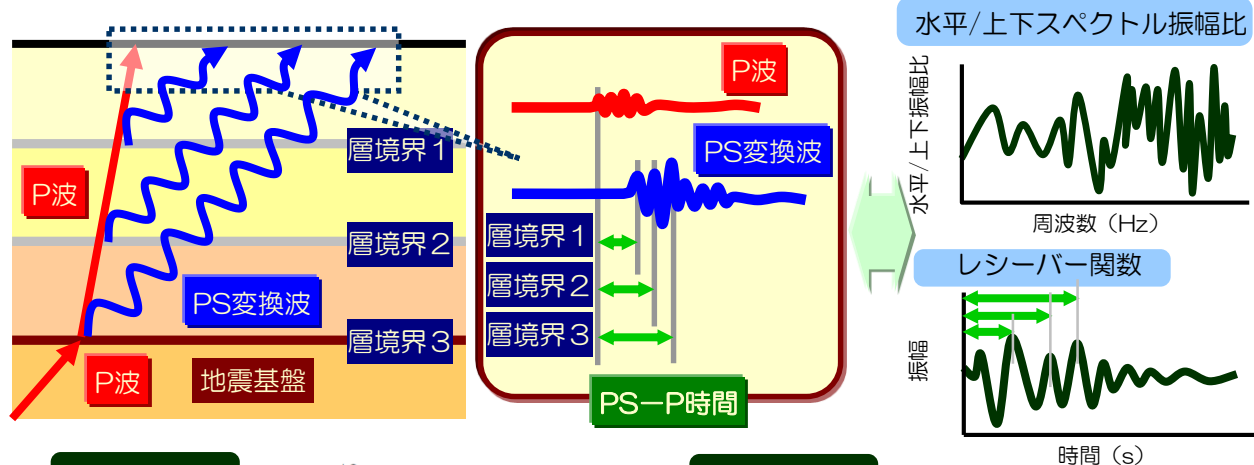


各断面から $\pm 2.5\text{km}$ 以内の余震を重ねて表示  
 白線の実線:  $V_p=5.7\text{km/s}$ の等速度線  
 白色の破線: 解析された基盤内のブロック境界断層  
 DCT (Deep Central Trough): 基盤上面の窪地

P波速度構造の深さ断面図

# No.4 水平／上下スペクトル振幅比の逆解析による敷地地盤の速度構造モデル

- P波部の水平／上下スペクトル振幅比には速度構造・減衰等の情報が含まれる。
- P波部の水平／上下スペクトル振幅比のフーリエ逆変換（レシーバー関数）には、地震基盤以浅の速度構造に関する量であるPS-P時間の情報等が含まれる。
- 小林ほか(2005)の方法は、水平／上下スペクトル振幅比，レシーバー関数を目的関数として、地盤の速度構造・減衰を推定する手法。
- 地盤系の記録（2004年中越地震の余震）の記録を用いて算定した目的関数に対して遺伝的アルゴリズムによる逆解析を実施。
- なお、解放基盤表面以浅は、鉛直アレイ観測記録の伝達関数に対して別途同定した地下構造モデルで固定するとともに、T.M.S.L.-300m以深の速度構造は荒浜側と大湊側で等しいと仮定して同定。



No.	探索範囲			同定結果			
	層厚 (m)	Vs (m/s)	Vp (m/s)	T.M.S.L. (m)	層厚 (m)	Vs (m/s)	Vp (m/s)
1	16	1110	2280	-284	16	1110	2280
2	10~1500	1000~1200	2100~2500	-1360	1060	1160	2390
3	10~2500	1200~2000	2500~4100	-2410	1050	1620	3220
4	10~2500	1200~2500	2500~4900	-3700	1290	2050	4150
5	10~2500	1400~3200	2800~6000	-5880	2180	2760	4820
6		2800~3200	4900~6000		∞	3170	5230

No.	探索範囲			同定結果			
	層厚 (m)	Vs (m/s)	Vp (m/s)	T.M.S.L. (m)	層厚 (m)	Vs (m/s)	Vp (m/s)
1	15	730	1800	-134	15	730	1800
2	31	890	1900	-180	31	890	1900
3	51	890	1900	-231	51	890	1900
4	35	960	1900	-266	35	960	1900
5	34	1000	2100	-300	34	1000	2100
6	10~1500	1000~1200	2100~2500	-1360	1060	1160	2390
7	10~2500	1200~2000	2500~4100	-2410	1050	1620	3220
8	10~2500	1200~2500	2500~4900	-3700	1290	2050	4150
9	10~2500	1400~3200	2800~6000	-5880	2180	2760	4820
10		2800~3200	4900~6000		∞	3170	5230

➡ Vp=6km/sを超える深さは約6km以深

# No.5 コンラッド面深さ

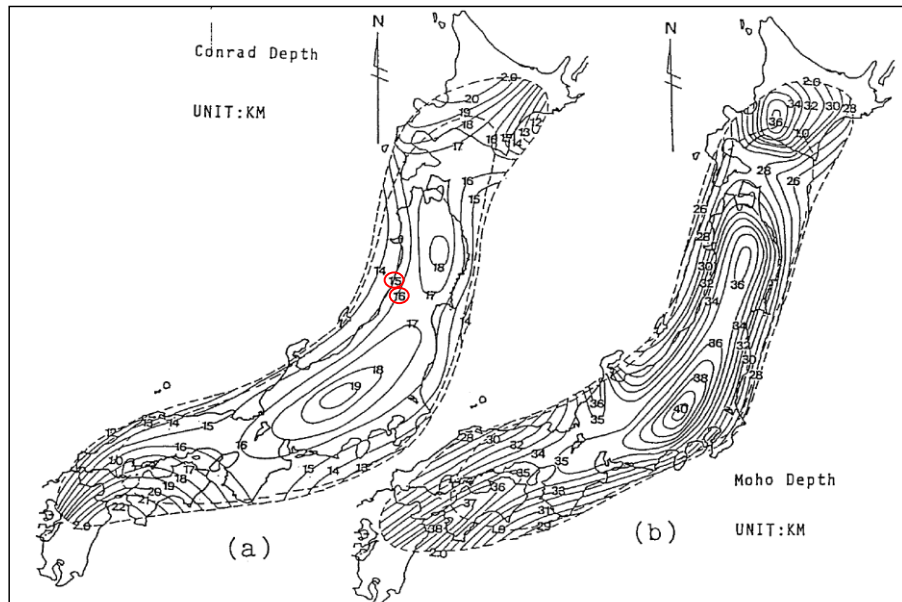
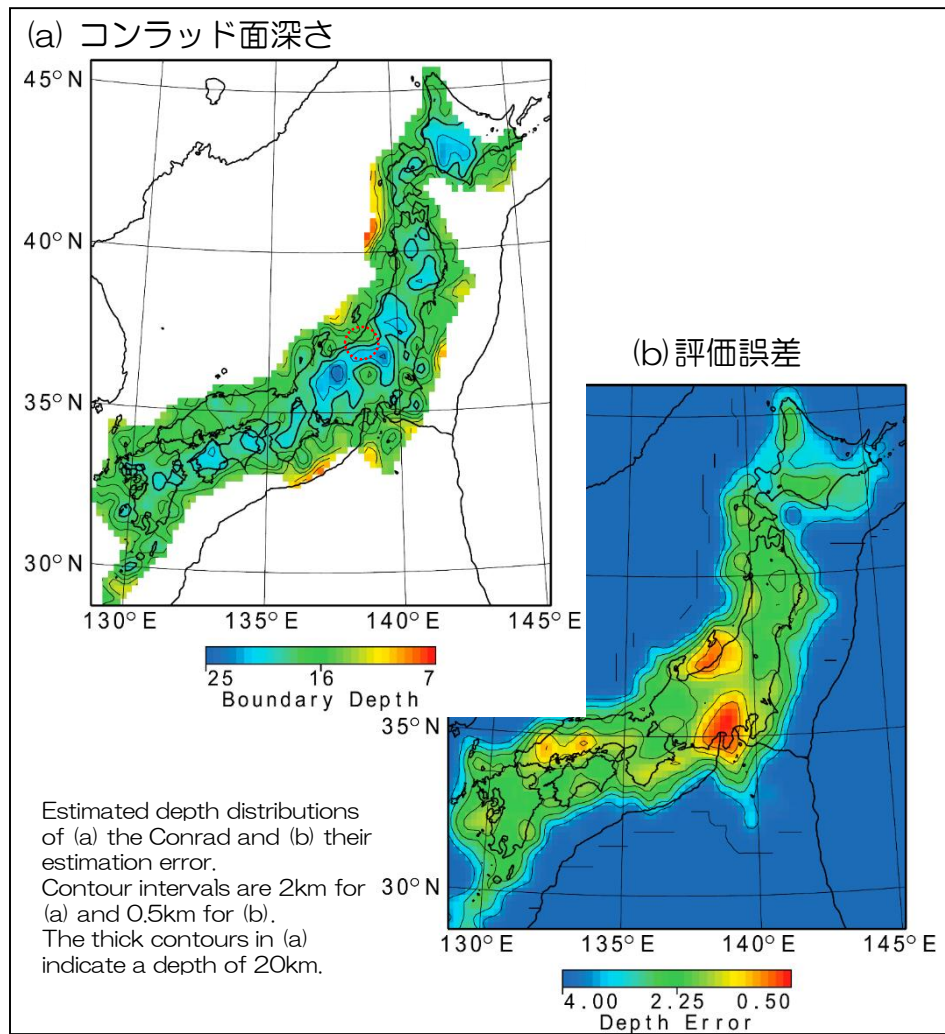


Figure 7. Depth distribution of (a) the Conrad and (b) the Moho discontinuities [after Zhao *et al.*, 1992b]. Solid lines denote depth contours, dashed lines the standard errors of the estimated depths. The outer dashed line encloses the region where the standard error is less than 2-km, and the inner one less than 1-km.

Zhao *et al.* (1994)より抜粋  
(一部加筆・修正)

コンラッドは地殻の上部と下部を分ける不連続面のことで、日本列島の陸域では概ね15km程度の深さに分布している。  
産業技術総合研究所HPより抜粋

地殻内の地震は、ほぼ上部地殻の中でのみ起きている。  
木下・大竹(2000)より抜粋



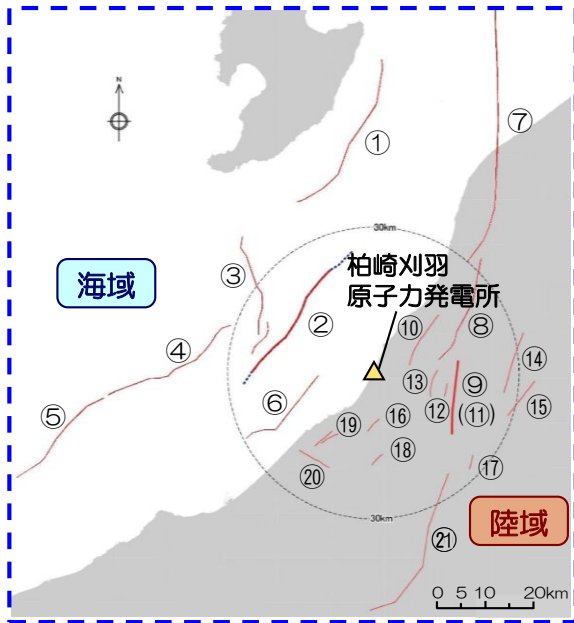
Estimated depth distributions of (a) the Conrad and (b) their estimation error. Contour intervals are 2km for 30° N (a) and 0.5km for (b). The thick contours in (a) indicate a depth of 20km.

Katsumata (2010)より抜粋  
(一部加筆・修正)

敷地周辺のコンラッド面深さ※は15~16km程度  
※コンラッド面の深さは、上部地殻の下限深さに概ね対応

# 敷地周辺の活断層分布と深部構造

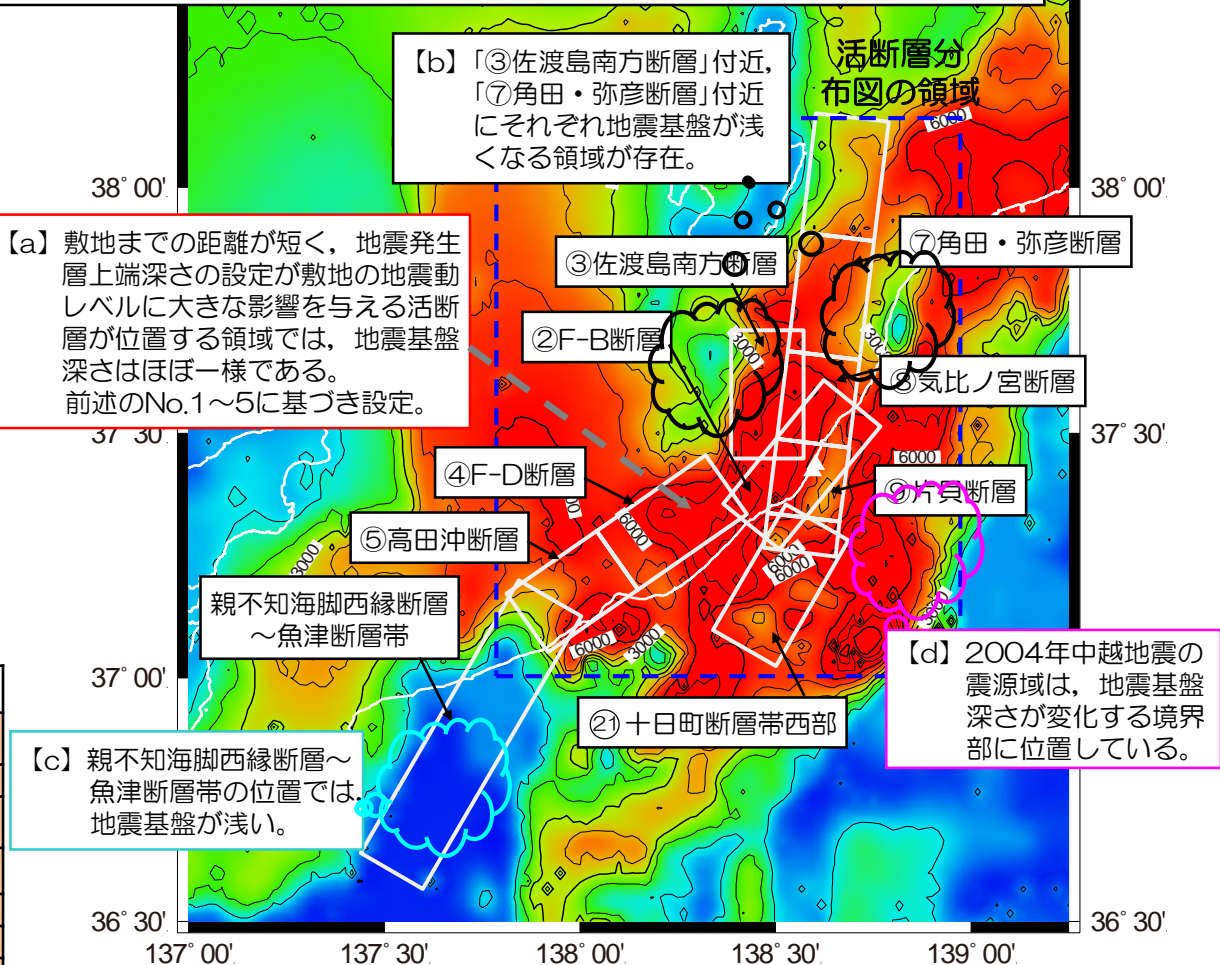
■地震発生層上端（概ね $V_p=6\text{km/s}$ 程度）と地震基盤（ $V_s=3\text{km/s}$ 程度）は、定義は異なるものの深部構造の傾向を把握する目的で敷地周辺の地震基盤深さを概観し、a~dの事項を確認。



	No.	活断層の名称
海域	1	佐渡島棚東縁断層
	2	F-B断層
	3	佐渡島南方断層
	4	F-D断層
	5	高田冲断層
陸域	6	米山冲断層
	7	角田・弥彦断層
	8	気比ノ宮断層
	9	片貝断層
	10	中央丘陵西縁部断層
	11	上富岡断層
	12	親沢断層

No.	活断層の名称
13	渋海川向斜部のリニアメント
14	悠久山断層
15	半蔵金付近のリニアメント
16	柏崎平野南東縁のリニアメント
17	山本山断層
18	水上断層
19	上米山断層
20	雁海断層
21	十日町断層帯西部

活断層分布図



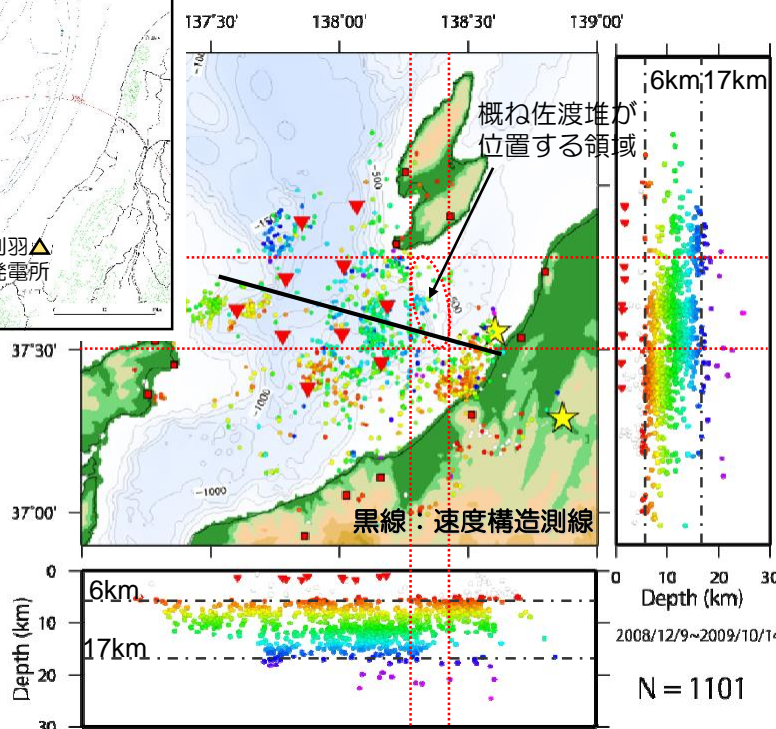
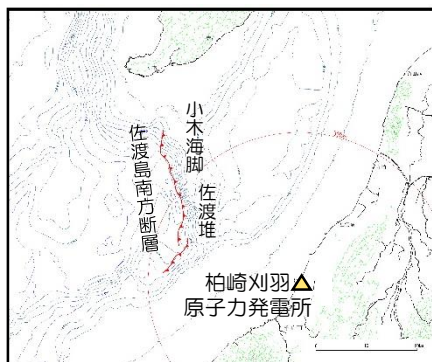
防災科研J-SHIS地震ハザードステーションの地震基盤深さのコンター図に敷地周辺の主な活断層（傾斜角 $35^\circ$ を仮定）を重ね描き

主な活断層の想定断層面と地震基盤深さ

以降では、b~dについて整理を行う。

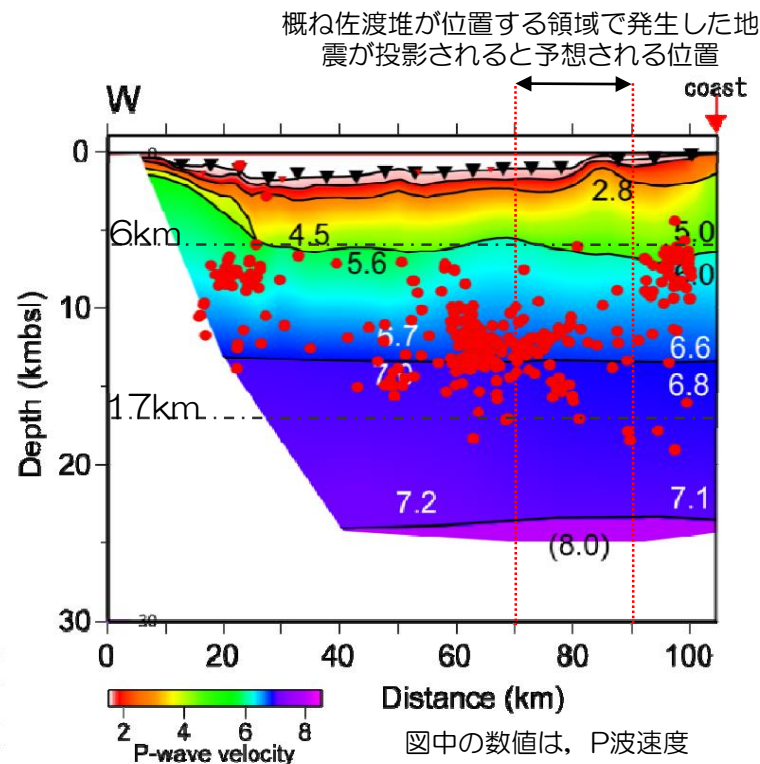
# b.に関する整理（佐渡島南方断層付近）

- J-SHISによる地震基盤が浅い領域は、佐渡島南方断層付近の佐渡堆に対応しているものと考えられる。
- ひずみ集中帯プロジェクトによる、海底地震計を用いた微小地震分布によると、多くの地震は深さ6 km以上で発生しており、佐渡堆が位置する領域においても、周辺と比較して浅い位置で地震が発生するといった事象は認められない。
- また、中越沖地震後に実施された地殻構造探査結果によると、 $V_p=2.8\text{km/s}$ 層の隆起は認められるものの、その深部においても $V_p=6\text{km/s}$ 層の深さはほぼ一様である。
- したがって、本領域においても地震発生層上端深さを6kmと設定することは妥当であると考えられる。



長期観測型海底地震計データ、および陸上観測点でのデータによる震源決定結果

▼：長期観測型海底地震計設置地点  
 防災科研(2011)より抜粋（一部加筆・修正）



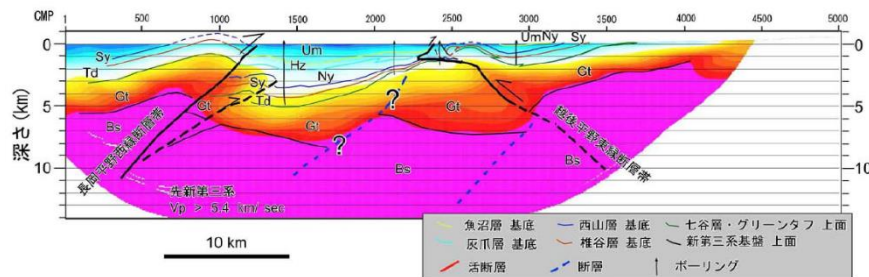
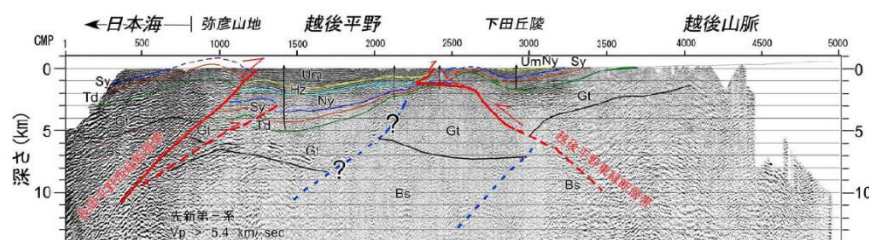
（トモグラフィ解析に用いたセルは水平方向2km、深さ方向1.2km）

中越沖で行われた地殻構造探査による速度構造測線（左図の黒線）の両側20km以内の地震を投影

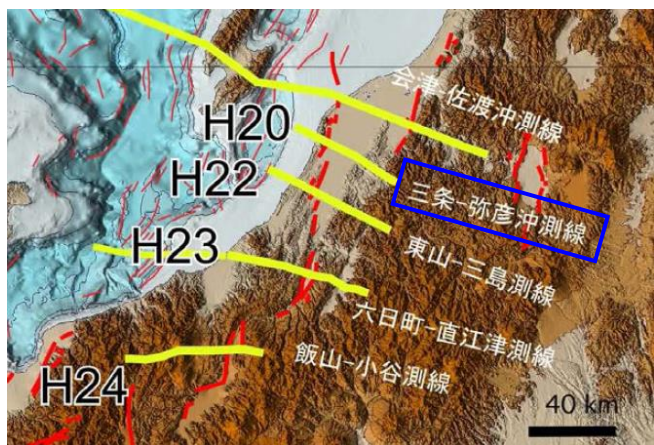


# b.に関する整理（角田・弥彦断層付近）

- ひずみ集中帯プロジェクトにおいて、H20年度に1828年三条地震の震源域（三条-弥彦沖測線）において反射法・屈折法による地殻構造探査が行われている。
- これによると、J-SHISによる地震基盤が浅い領域は、弥彦山地に対応していると考えられ、わずかではあるが、基盤上面が浅くなる傾向が認められる。
- 仮に、この情報を踏まえ、角田・弥彦断層の地震発生層上端深さを浅く設定した場合でも、敷地からの位置関係など（敷地からの距離が十分にあり、また断層傾斜角と位置関係から浅くなる一方、水平距離が遠くなる）を踏まえると敷地における地震動評価上、影響は無いものと考えられる。



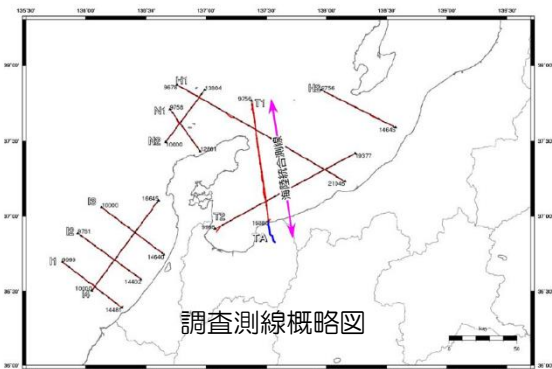
三条-弥彦沖測線の反射法地震探査断面と速度構造断面の地質構造解釈  
 防災科研(2009)より抜粋（一部加筆・修正）



地殻構造探査測線 防災科研(2013)より抜粋（一部加筆・修正）

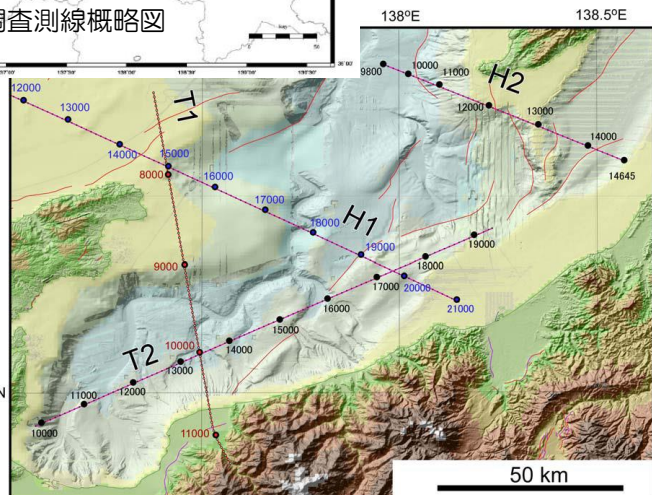
# c.に関する整理（親不知海脚西縁断層～魚津断層帯）

- 佐藤ほか(2014)では、飛騨山脈北縁から富山トラフを横断し、能登半島北方海域にいたる約120kmの測線で反射法地震探査を実施しており、屈折トモグラフィによる速度構造では、測線南端に向けて  $V_p=5.3\text{km/s}$  の層が深さ6kmより浅くなる傾向にあることが確認されている。
- この知見を踏まえ、親不知海縁西縁断層～魚津断層帯にかけて、発生層上端深さを浅く設定した場合でも、敷地からの位置関係など（敷地からの距離が十分にあり、また断層傾斜角と位置関係から浅くなる一方、水平距離が遠くなる）を踏まえると敷地における地震動評価上、影響は無いものと考えられる。

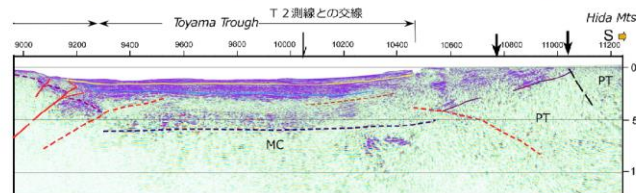
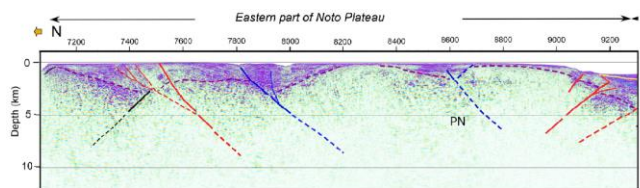


海域統合探査測線は、飛騨山地から黒部沖にいたるTA測線（測線長31km）と海上二船式でデータを取得した富山トラフを横断するT1測線（測線長85km）から構成

上越沖海域周辺の測線図

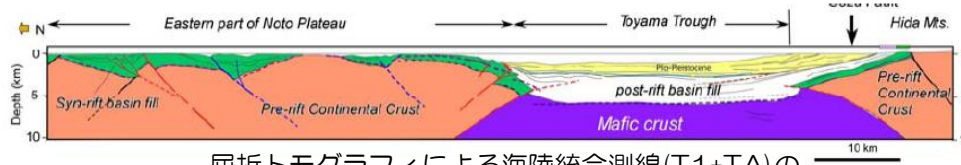
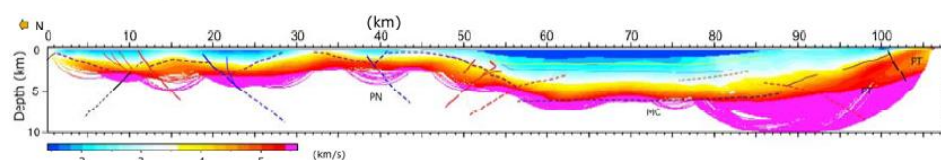


佐藤ほか(2014)より抜粋（一部加筆・修正）



海陸統合測線(T1+TA)の反射法地震探査深度変換断面の地質学的解釈

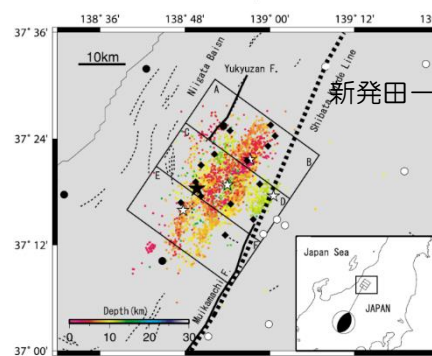
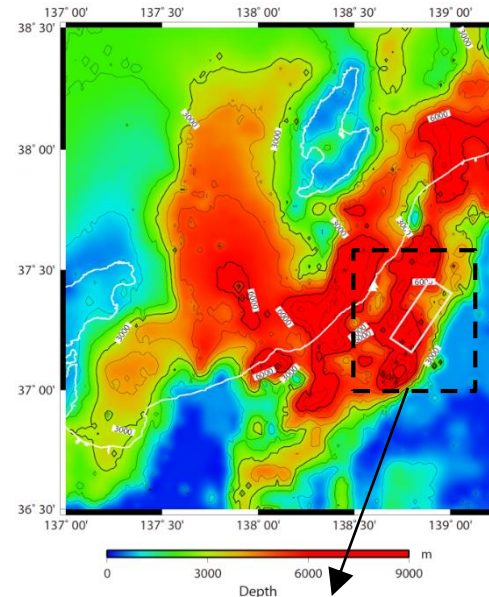
凡例 赤: 活断層, 青: 逆断層, 黒: 正断層, BS(MC): 苦鉄質な地殻, PN: 先新第三系(大陸性地殻), 赤紫破線: 先新第三系もしくは火山岩の上面, 水色: 西山層基底, 黄色: 灰爪層基底



屈折トモグラフィによる海陸統合測線(T1+TA)のP波速度構造断面(上)と地質解釈断面(下)

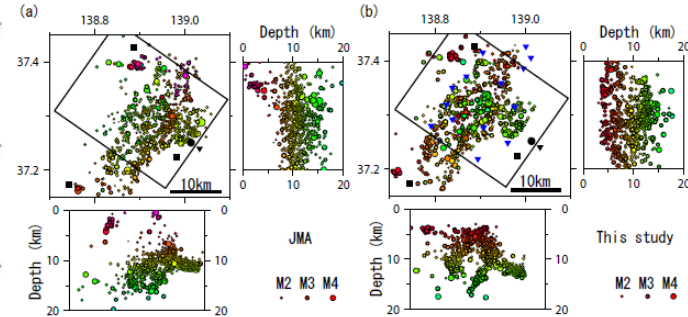
# d.に関する整理（地震基盤深さが変化する領域での地震）

- 中越地震については、気象庁一元化震源による余震分布の鉛直断面図からは地震断層面を示すような面状の分布が見られず、イバ-ゾ-ン解析における初期条件の任意性が高く、多様な震源モデルが提案されたと考えられる。
- Sakai et al. (2005)では、新発田一小出線の東西で異なる速度構造を用いて震源決定を行い、余震分布の線状配列を見出している。この余震分布によると本震断層面の上端深さは約5km程度である。
- 敷地周辺では、上端深さ6km程度であり、東に向かって基盤が浅くなるKato et al. (2009)の検討結果と整合している。
- 一方、中越地震のシミュレーション解析に用いた神原ほか(2006)による震源モデルにおいて、すべり量の大きい領域の上端深さは約5km程度であり、地震動評価上のアスペリティ設定位置（上端6km）と概ね整合していると考えられる。
- 敷地周辺に分布する主な活断層は、中越地震の震源域の西側であり、Kato et al. (2009)による西に深くなる傾向にある速度構造を踏まえると、地震発生層上端深さは一様に6kmと想定することは妥当であると考えられる。



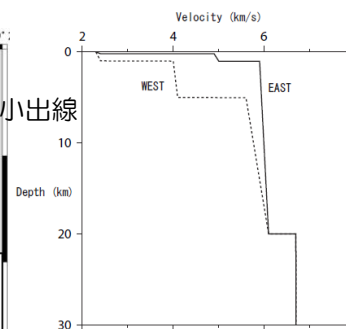
図b.震央分布と観測点配置

- ★：本震
- ☆：M6級の余震
- ：緊急余震観測点
- ：テレメータ観測点
- 新発田一小出線を境にして観測点ごとに震源決定に用いる速度構造を変えている。



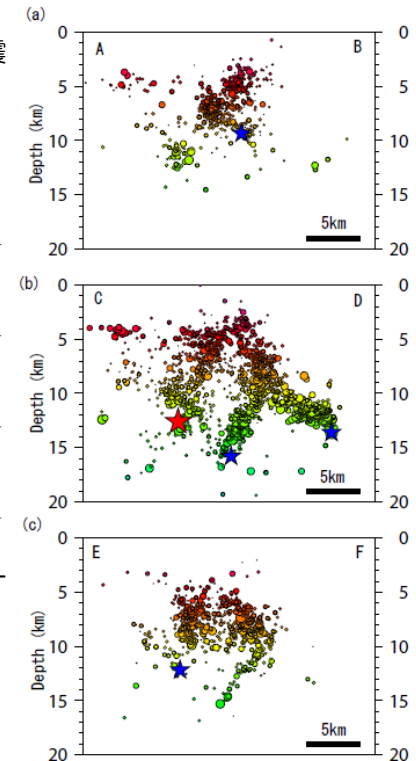
図d.気象庁一元化震源(a)と緊急余震観測点を用いて決めた震源(b)

図a. J-SHISによる地震基盤分布と神原ほか(2006)の断面図



図c.震源決定に用いた一次元速度構造

新発田一小出線を境にして、北西側に位置する観測点では点線の速度構造、南東側に位置する観測点では実線の速度構造を用いて震源決定を実施



図e.緊急余震観測点を用いて決めた震源の鉛直断面図

図b~e: Sakai et al. (2005)より抜粋（一部加筆・修正）

# 【参考1】 想定断層面ごとに上端深さを変更した場合の影響について

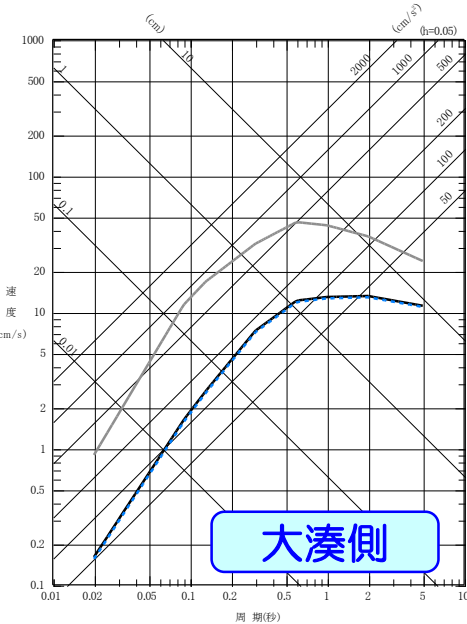
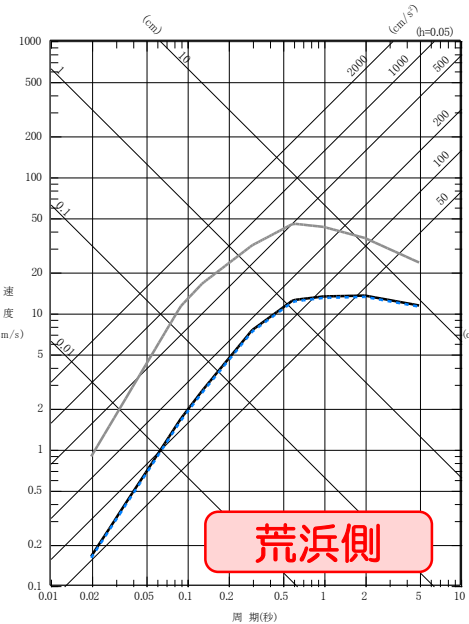
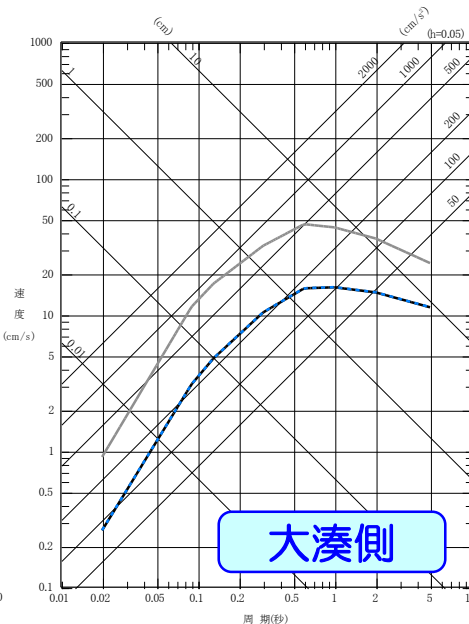
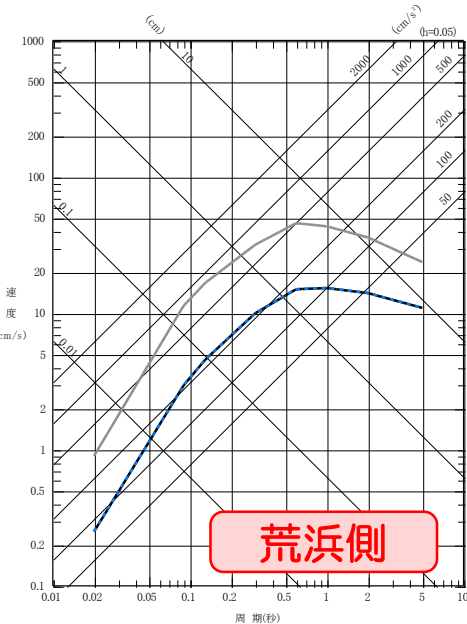
- 以上の知見を整理した結果を踏まえ、地震発生層の上端深さが浅くなる可能性があると考えられる、「⑦角田・弥彦断層」，「親不知海脚西縁断層～魚津断層帯」について，Noda et al. (2002)を用いて上端深さの設定の違いが敷地の地震動評価にどの程度の影響を与えるか確認を行う。
- なお、地震発生層上端深さ（3kmを想定）のみを変化させ、地震発生層厚さは一定と仮定。

## ⑦角田・弥彦断層

- 片貝断層による地震
- 角田・弥彦断層による地震（上端深さ6km）
- ..... 角田・弥彦断層による地震（上端深さ3km）

## 親不知海脚西縁断層～魚津断層帯

- F-B断層による地震（新潟県中越沖地震）
- 親不知海脚西縁断層～魚津断層帯による地震（上端深さ6km）
- ..... 親不知海脚西縁断層～魚津断層帯による地震（上端深さ3km）



Noda et al. (2002)による応答スペクトルの比較

- これより、「⑦角田・弥彦断層」，「親不知海脚西縁断層～魚津断層帯」において、地震発生層上端深さを浅くした場合でも、敷地における地震動評価に与える影響が小さいことを確認。

## 【参考2】地震基盤と地震発生層上端について

- 地震基盤は、地震本部(2009)によると、『地殻最上部にあるS波速度3km/s程度の堅硬な岩盤』とされている。
- 一方、地震発生層に関しては、地震本部(2009)や日本建築学会(2005)によると、『地震発生層の厚さ  $W_s = H_d - H_s$  である。  $H_d$  と  $H_s$  は地震発生層の下限および上限の深さで微小地震の深さ分布から決められる。精度よい微小地震の震源分布が得られないときは、地殻のP波速度、S波速度構造を参考に決められる。』とされている。
- なお、入倉・三宅(2001)によると、『微小地震の浅さ限界  $H_s$  はP波速度5.8~5.9km/sの層の上限と良い相関がある。』とされている。
- 以上の観点に基づき、各データを整理すると、敷地周辺の地震基盤及び地震発生層上端の深さはいずれも6km程度と考えられる。

項 目		地震基盤深さ (km) S波速度3km/s程度	地震発生層上端深さ (km) P波速度6km/s程度
海域・陸域臨時地震計観測網に基づく中越沖地震の精密余震分布		—	( 6 )
ひずみ集中帯プロジェクト	1.屈折法地震探査結果	—	6~9
	2.海域における自然地震観測	—	6
Kato et al. (2009)によるP波速度構造		—	6
水平／上下スペクトル振幅比の逆解析による敷地地盤の速度構造モデル		5.9	5.9~
防災科研J-SHIS地震ハザードステーションの地震基盤深さカウンター図		約6	—

※ ( ) は微小地震分布から求めた値

## 1. 地震発生層の設定

## 2. 検討用地震の選定

- 2.1 孤立した短い活断層
- 2.2 副次的な断層等
- 2.3 被害地震の選定
- 2.4 検討用地震の選定

## 3. F-B断層による地震の地震動評価

- 3.1 震源モデルの設定と不確かさの考え方
- 3.2 応答スペクトルに基づく地震動評価
- 3.3 断層モデルを用いた手法による地震動評価
- 3.4 評価の妥当性に関する検討

## 4. 長岡平野西縁断層帯による地震の地震動評価

- 4.1 震源モデルの設定と不確かさの考え方
- 4.2 応答スペクトルに基づく地震動評価
- 4.3 断層モデルを用いた手法による地震動評価
- 4.4 評価の妥当性に関する検討

## 5. 基準地震動の策定

## 6. 佐渡島南方～魚津断層帯による地震の地震動評価

## 2. 検討用地震の選定

		内容	説明概要	ページ
3	H27 4/10	地震動評価における孤立した短い活断層の扱いについて説明すること。	<ul style="list-style-type: none"> <li>審査ガイドの記載を整理したうえで、敷地周辺の活断層に対し、長さ15km以下の活断層を孤立した短い活断層として扱っている旨をご説明。</li> <li>また、断層面を想定して求めた等価震源距離を用い、同規模で等価震源距離が最も近い片貝断層による地震で代表させていることをご説明。</li> </ul>	23～27
4	H27 7/10	地震動評価における副次的な断層の扱いについて説明すること。	<ul style="list-style-type: none"> <li>想定される断層面と地震発生層の位置関係を整理するとともに、強震動予測レシビの枠組みにおいて、地震発生層より浅い部分の影響は無いと考えられること、新しい知見として動力的断層モデルによる検討においても、逆断層による地震では浅部の影響は小さいとされていることをご説明。</li> </ul>	30～38
5	H27 4/24	宇佐美ほか(2013)を引用した際の影響について、敷地における揺れが震度5弱（震度V）程度以上と推定される地震の選定プロセス・エビデンスを明示しながら説明すること。	<ul style="list-style-type: none"> <li>宇佐美ほか(2013)を引用した際でも、選定される地震に相違が無いことを、選定プロセス・エビデンスとともにご説明。</li> </ul>	39～47

1. 地震発生層の設定
2. 検討用地震の選定
  - 2.1 孤立した短い活断層
  - 2.2 副次的な断層等
  - 2.3 被害地震の選定
  - 2.4 検討用地震の選定
3. F-B断層による地震の地震動評価
  - 3.1 震源モデルの設定と不確かさの考え方
  - 3.2 応答スペクトルに基づく地震動評価
  - 3.3 断層モデルを用いた手法による地震動評価
  - 3.4 評価の妥当性に関する検討
4. 長岡平野西縁断層帯による地震の地震動評価
  - 4.1 震源モデルの設定と不確かさの考え方
  - 4.2 応答スペクトルに基づく地震動評価
  - 4.3 断層モデルを用いた手法による地震動評価
  - 4.4 評価の妥当性に関する検討
5. 基準地震動の策定
6. 佐渡島南方～魚津断層帯による地震の地震動評価



# 孤立した短い活断層

- 審査ガイドにおける『孤立した短い活断層』に関する記載は以下のとおり。

## 【敷地内及び敷地周辺の地質・地質構造調査に係る審査ガイド】

**孤立した短い活断層**については、地表で認められる活断層の長さが震源断層の長さを示さないことから、対象地域での地震発生層の厚さ、重力異常や地質断層を参考とした地下構造、地質構造を十分に考慮して、断層の長さが設定される必要がある。



- 審査ガイドの記載を踏まえて、ここでは、断層長さが**15km以下の活断層**を『孤立した短い活断層』として整理。

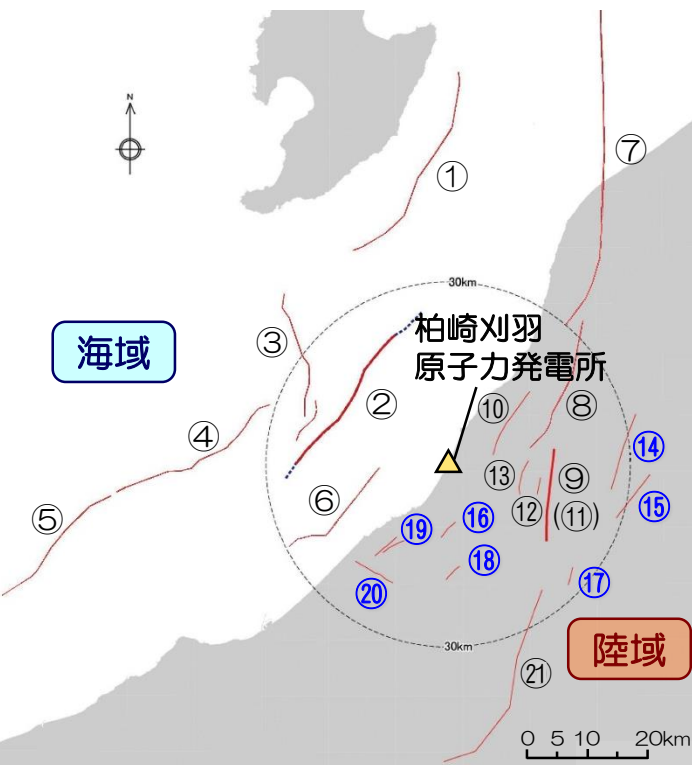
地震発生層の上端深さを6km、下端深さを17km、その厚さを11kmとし、逆断層において一般的に想定される断層傾斜角 $45^\circ$ を仮定した場合、地震発生層を飽和した震源断層の断層幅は15.6kmとなる。したがって、ここでは、断層長さが15km以下の活断層を『孤立した短い活断層』として整理することとした。

# 敷地周辺に分布する孤立した短い活断層

■ 断層長さが15km以下の活断層で『孤立した短い活断層』として整理したのは⑭～⑳の7断層。

敷地周辺の活断層の諸元（柏崎刈羽原子力発電所6号炉及び7号炉の設置変更許可申請書より）

No.	活断層の名称	断層長さ (km)	地震規模※1	傾斜角※2 (°)	断層幅※3 (km)	Xeq※4 (km)		備考
						荒浜	大湊	
1	佐渡島棚東縁断層	37	6.8	西55	15	55	53	佐渡島棚東縁撓曲に対応
2	F-B断層	27	6.8	東35	20	14	14	F-B褶曲群に対応
3	佐渡島南方断層	29	6.8	東45	16	26	25	
4	F-D断層	30	6.8	東45	16	38	39	F-D褶曲群に対応
5	高田冲断層	25	6.8	東30	22	59	60	高田冲褶曲群に対応
6	米山冲断層	21	6.8	西50	15	25	26	
7	角田・弥彦断層	54	7.1	西50	15	51	49	
8	気比ノ宮断層	22	6.8	西50	15	21	20	
9	片貝断層	16	6.8	西50	15	14	14	
10	中央丘陵西縁部断層	—	—	—	—	—	—	No.8の副次的な断層※5
11	上富岡断層	—	—	—	—	—	—	No.9の副次的な断層※5
12	親沢断層	—	—	—	—	—	—	No.9の副次的な断層※5
13	渋海川向斜部のリニアメント	—	—	—	—	—	—	No.9の副次的な断層※5
14	悠久山断層	13	6.8	東80	12	27	26	孤立した短い活断層※6
15	半蔵金付近のリニアメント	9	6.8	西50	15	25	25	孤立した短い活断層※6
16	柏崎平野南東縁のリニアメント	4	6.8	東80	12	15	16	孤立した短い活断層※6
17	山本山断層	4	6.8	西50	15	21	21	孤立した短い活断層※6
18	水上断層	4	6.8	西50	15	15	16	孤立した短い活断層※6
19	上米山断層	6	6.8	西50	15	17	18	孤立した短い活断層※6
20	雁海断層	7	6.8	北50	15	17	18	孤立した短い活断層※6
21	十日町断層帯西部	33	6.8	西60	13	32	33	



- ※1：地震規模は、中越沖地震の知見を踏まえて設定。
- ※2：断層の傾斜角について、F-B断層は、中越沖地震の余震分布に基づき設定。その他は、地質調査結果及び地震本部(2009)による長期評価を参考に設定。
- ※3：断層幅は、地震発生層厚さ11km及び断層傾斜角に基づき、地震発生層を飽和するように設定。

※4：F-B断層の等価震源距離(Xeq)は、中越沖地震の震源インバージョンによる震源モデルに基づき算定。その他は、地震本部(2009)による強震動予測レシビ(以下、「強震動予測レシビ」)に従い、断層の中点を基準として均等配置した断層面を用いて算定。なお、断層面積が地震モーメント $M_0 = 7.5 \times 10^{18} (\text{N} \cdot \text{m})$ に相当する $368 \text{ km}^2$ を下回る断層(No.6, 8, 9及びNo.14~20)については、 $368 \text{ km}^2$ を上回る断層面を想定。

- ※5：気比ノ宮断層または片貝断層の副次的な断層はそれぞれ気比ノ宮断層、片貝断層にて代表させる。
- ※6：地表付近の断層長さが短く、震源断層が地表付近の長さ以上に広がっている可能性も考えられる断層(孤立した短い活断層)であるNo.14~20については、安全評価上M6.8を考慮するが、地震規模が等しく等価震源距離(Xeq)がより短い片貝断層にて代表させる。

# 地震動評価における孤立した短い活断層の扱い 断層面の設定と等価震源距離 (Xeq) の算定

- 孤立した短い活断層においては、地震モーメント  $M_0 = 7.5 \times 10^{18} (\text{N} \cdot \text{m})$  に相当する断層面積  $368 \text{ km}^2$  を上回る断層面を想定。(断層面積  $368 \text{ km}^2$  に満たないその他の断層についても同様の設定を実施)
- 断層面の位置は、断層の中点を基準とし均等配置で想定し、敷地までの等価震源距離 (Xeq) を算定。

Seismic Moment is estimated from the empirical relation,

$M_0$  vs Rupture Area ( $S = LW$ )

$$S = 2.23 \times 10^{-15} \times M_0^{2/3}$$

for  $M_0 < 7.5 \times 10^{25} \text{ dyne-cm}$

$$S = 4.24 \times 10^{-11} \times M_0^{1/2}$$

for  $M_0 \geq 7.5 \times 10^{25} \text{ dyne-cm}$

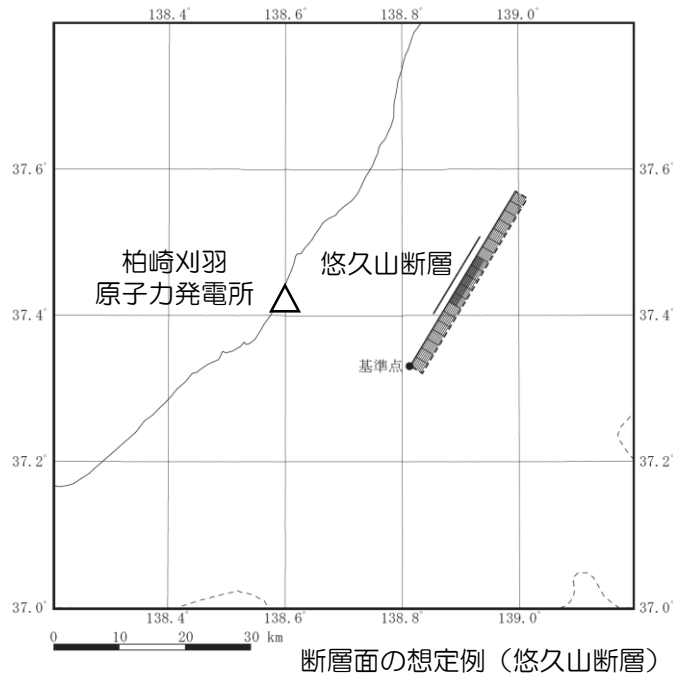
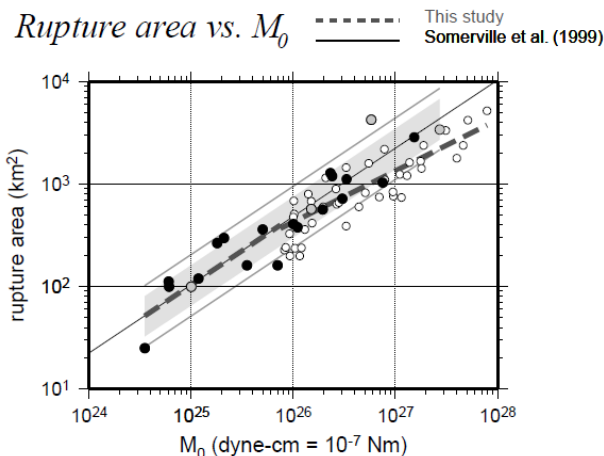
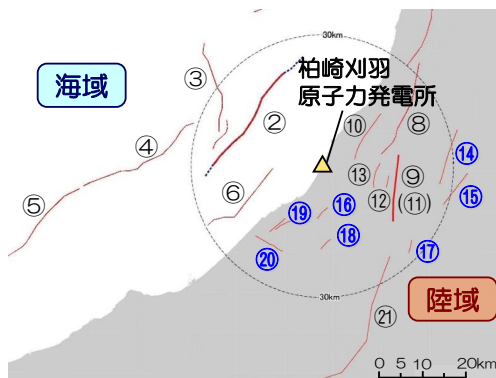


図 8 震源特性化の手続き-その 1: 巨視的断層パラメータの設定。

Step 1 は断層長さ L を定義, Step 2 は断層長さ L と断層幅 W の関係 (太点線), Step 3 は断層面積 ( $S=LW$ ) と地震モーメント  $M_0$  の関係 (太点線) を与える。この結果, シナリオ地震の地震モーメントが与えられる。

入倉・三宅(2001)より抜粋 (一部加筆・修正)



	No.	活断層の名称	断層長さ (km)	地震規模	傾斜角 (°)	断層幅 (km)	想定断層面の断層長さ (km)	Xeq (km)	
								荒浜	大湊
陸域	9	片貝断層	16	6.8	西50	15	25	14	14
	14	悠久山断層	13	6.8	東80	12	31	27	26
	15	半蔵金付近のリニアメント	9	6.8	西50	15	25	25	25
	16	柏崎平野南東縁のリニアメント	4	6.8	東80	12	31	15	16
	17	山本山断層	4	6.8	西50	15	25	21	21
	18	水上断層	4	6.8	西50	15	25	15	16
	19	上米山断層	6	6.8	西50	15	25	17	18
	20	雁海断層	7	6.8	北50	15	25	17	18

# 地震動評価における孤立した短い活断層の扱い 地震規模の設定とまとめ

■ 以下の観点から、地震規模については、安全評価上、M6.8を考慮

(1) 仮に、地震発生層の上端(6km)から下端(17km)まで広がる断層幅及びそれに等しい断層長さをもつ震源断層を想定し、入倉・三宅(2001)による断層面積と地震モーメントの関係式及び武村(1990)による地震モーメントとマグニチュードMの関係式を介すと地震規模は**M6.7**である。

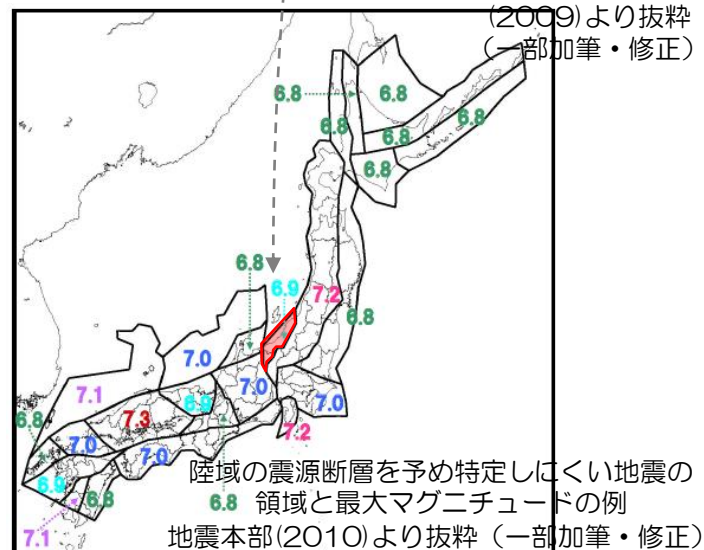
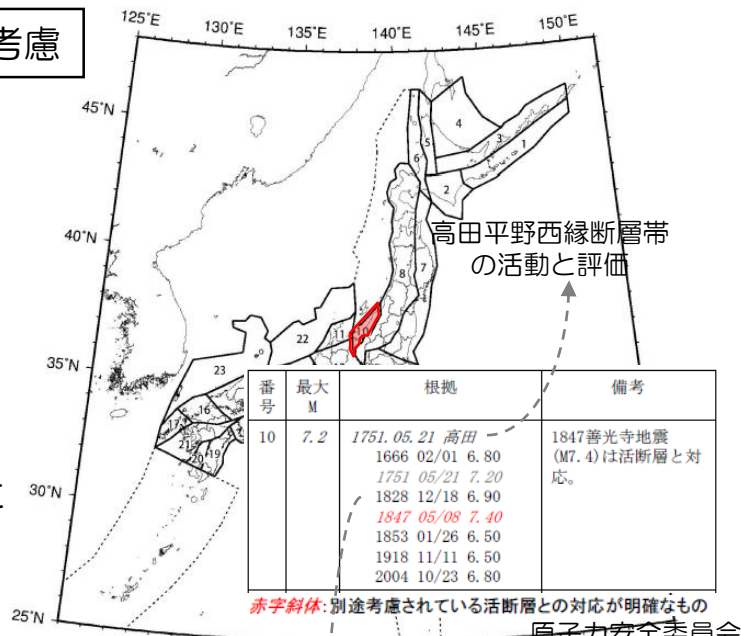
なお、断層傾斜角については、強震動予測レシピを参考に45°と仮定。

(2) 地震本部(2010)では、敷地が位置する領域(右上図の領域10)の1751年高田の地震が、高田平野西縁断層帯の活動と評価され、最大マグニチュードは1828年三条地震のM6.9となった。(右下図)

その後、ひずみ集中帯プロジェクトにおける調査により、1828年三条地震の震源断層が越後平野東縁断層であることが指摘されていることを踏まえると、最大マグニチュードを**M6.8**とすることは妥当であると考えられる。

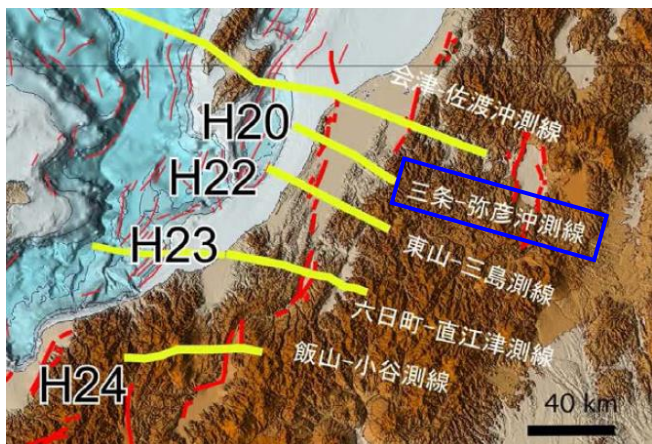
■ 敷地周辺の孤立した短い活断層は、安全評価上M6.8と片貝断層による地震と同程度の規模を想定した場合でも、等価震源距離( $X_{eq}$ )が片貝断層による地震( $X_{eq}=14\text{km}$ )と比較して遠く、敷地への影響は下回ると考えられることから、片貝断層にて代表させる。

■ なお、片貝断層は、地震動評価において、角田・弥彦断層、気比ノ宮断層と一連で活動する長岡平野断層帯として扱う。



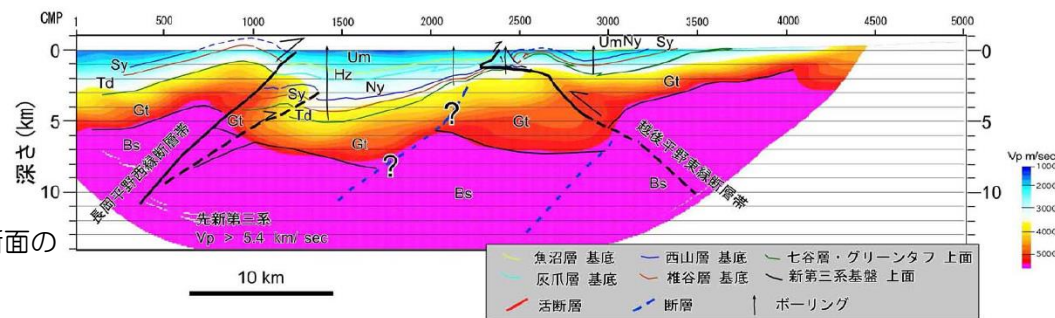
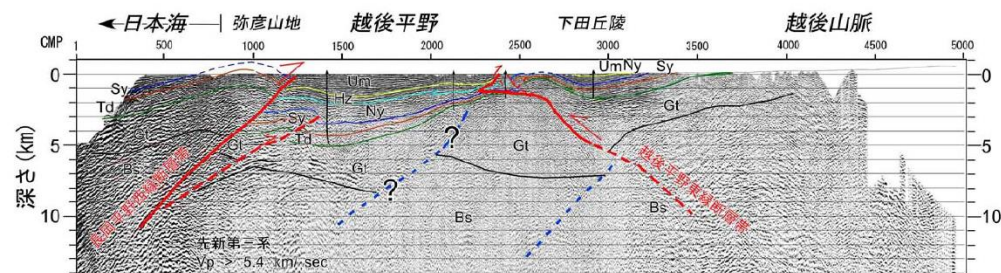
# 【参考】ひずみ集中帯プロジェクトにおける 1828年三条地震震源域の反射法・屈折法地殻構造探查

- ひずみ集中帯プロジェクトにおいて、H20年度に1828年三条地震の震源域において反射法・屈折法による地殻構造探查が行われている。
- 探查の結果、東傾斜約40°の越後平野東縁断層帯が認められ、1828年三条地震の震源断層であった可能性が大きいとしている。



地殻構造探查測線  
防災科研(2013)より抜粋  
(一部加筆・修正)

三条-弥彦沖測線の反射法地震探查断面と速度構造断面の  
地質構造解釈  
防災科研(2009)より抜粋(一部加筆・修正)



# 【参考】越後平野東縁断層帯による敷地への影響について

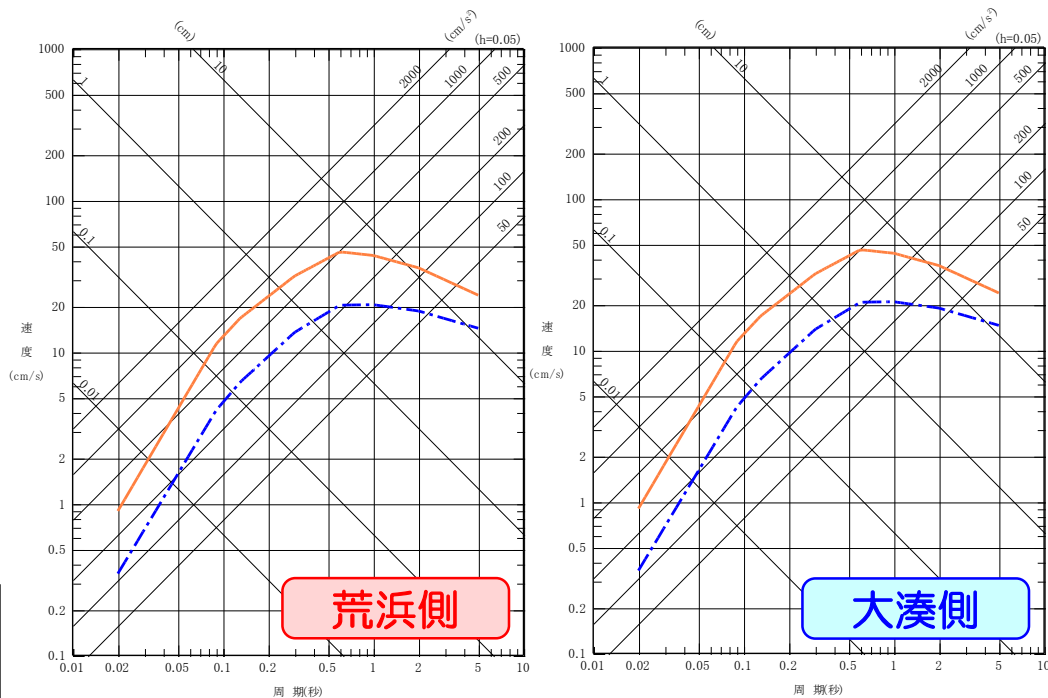
- 産総研 活断層データベースによると、探查位置には、加茂活動セグメント及び悠久山活動セグメントからなる越後平野東縁断層帯が存在する。
- 敷地からの位置、断層長さから、敷地に与える影響は片貝断層による地震を下回るものと考えられる。



## 【設定条件】

- 長さ：43km
- 走向：31°
- 傾斜角：東40°（ひずみ集中帯プロジェクトより）

- 片貝断層による地震(M6.8, Xeq=14km)
- - - 越後平野東縁断層帯(M7.1, Xeq=40km)
- 片貝断層による地震(M6.8, Xeq=14km)
- - - 越後平野東縁断層帯(M7.1, Xeq=39km)



Noda et al.(2002)による応答スペクトルの比較

※地震規模は、中越沖地震の知見を踏まえて設定。

293-01	かち 加茂活動セグメント 所属断層帯名: 加茂活断層帯	一般走向 N 50°E
		一般傾斜 45°S
		長さ 12 km
		断層型 逆
		実位の向き(隆起側) S
		平均実位速度 0.2 m/年 注 中田・今泉(2002)などによる傾斜面の上下実位から得られた値を、断層面の傾斜角45度としてネット上に換算した平均値を採用。
		単位実位量 1.4 m 活動セグメント長から栗田(1999)の感数式より算出した値を採用。
		平均活動間隔 6.7 千年 具体的な数値を示すデータは得られていない。平均実位速度と単位実位量より計算した値を採用。

057-01	やうきやうさん 悠久山活動セグメント 所属断層帯名: 悠久山活断層帯	一般走向 N 30°E
		一般傾斜 45°E
		長さ 15 km
		断層型 逆
		実位の向き(隆起側) E
		平均実位速度 0.5 m/年 注 具体的な数値を示す十分なデータは得られていない。地形表現からB値と推定し、その代表値を仮定値とする。
		単位実位量 1.7 m 活動セグメント長から栗田(1999)の感数式より算出した値を採用。
		平均活動間隔 3.5 千年 具体的な数値を示すデータは得られていない。平均実位速度と単位実位量より計算した値を採用。

産総研 活断層データベースより抜粋（一部加筆・修正）

## 1. 地震発生層の設定

## 2. 検討用地震の選定

2.1 孤立した短い活断層

2.2 副次的な断層等

2.3 被害地震の選定

2.4 検討用地震の選定

## 3. F-B断層による地震の地震動評価

3.1 震源モデルの設定と不確かさの考え方

3.2 応答スペクトルに基づく地震動評価

3.3 断層モデルを用いた手法による地震動評価

3.4 評価の妥当性に関する検討

## 4. 長岡平野西縁断層帯による地震の地震動評価

4.1 震源モデルの設定と不確かさの考え方

4.2 応答スペクトルに基づく地震動評価

4.3 断層モデルを用いた手法による地震動評価

4.4 評価の妥当性に関する検討

## 5. 基準地震動の策定

## 6. 佐渡島南方～魚津断層帯による地震の地震動評価

# 副次的な断層等に関する検討概要

- 副次的な断層等に関して、敷地における地震動評価に与える影響を確認することを目的に、以下の検討を実施。

## ①地質調査結果の整理

地質調査結果を整理し、主断層と副次的な断層等の位置関係を確認。また、地質調査結果をもとに想定される副次的な断層の断層面が、地震発生層（上端深さ6km）に到達するか否かを確認。

## ②現状の地震動評価の 枠組み

地震本部(2009)の強震動予測レシピによる現状の枠組みにおいて、地震発生層より浅い部分の取り扱いを中心に断層モデルの設定方法について確認。また、強震動予測レシピの検証状況について確認。

## ③最新知見の確認

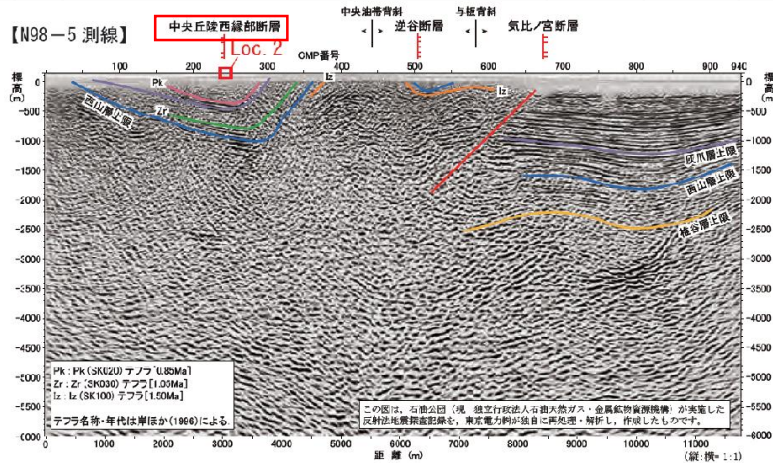
現状の断層モデルを用いた手法による地震動評価は、物理的な破壊現象が正しくモデル化されていない短所があり、これに対し、断層破壊の過程を表現する動学的断層モデルを用いた研究が鋭意行われている。動学的断層モデルを用いた研究の内容をフォローし、敷地における地震動評価において、反映すべき新たな知見の有無について確認。



# ①地質調査結果の整理

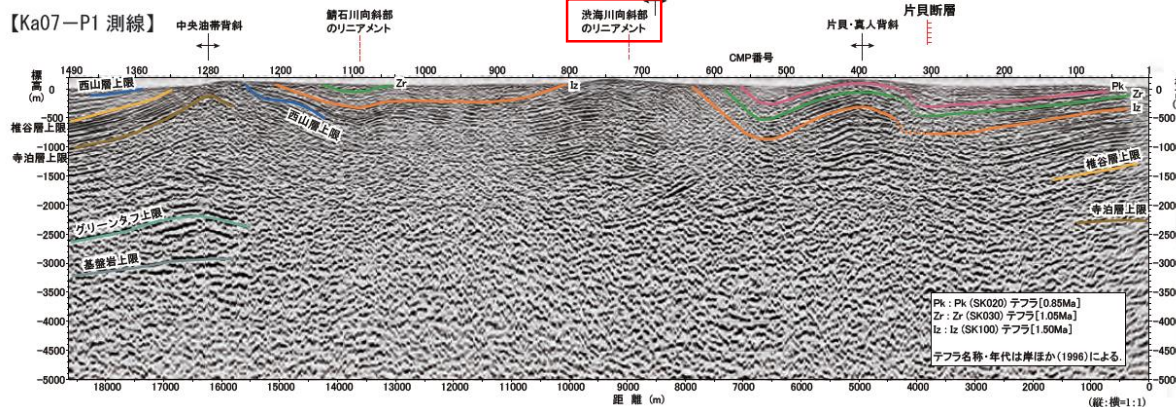
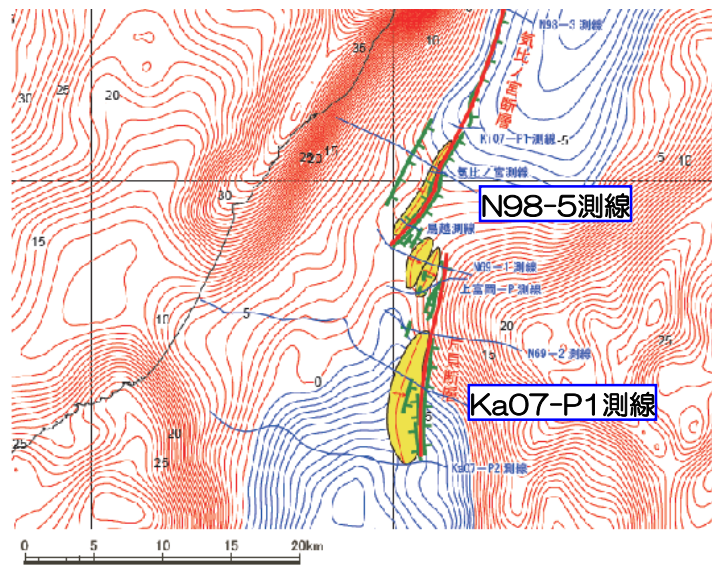


No.	活断層の名称	断層長さ (km)	地震規模	傾斜角 (°)	断層幅 (km)	Xeq(km)		備考
						荒浜	大湊	
8	気比ノ宮断層	22	6.8	西50	15	21	20	
9	片貝断層	16	6.8	西50	15	14	14	
10	中央丘陵西縁部断層	—	—	—	—	—	—	No.8の副次的な断層
11	上富岡断層	—	—	—	—	—	—	No.9の副次的な断層
12	親沢断層	—	—	—	—	—	—	No.9の副次的な断層
13	渋海川向斜部のリニアメント	—	—	—	—	—	—	No.9の副次的な断層



【中央丘陵西縁部断層】  
広域的な変動に伴う動きの累積による副次的な構造と判断される。

【渋海川向斜部のリニアメント】  
反射法地震探査結果によると少なくとも地下深部に連続する規模の大きい断層は認められず、副次的な構造が地形として認識されるものと評価される。



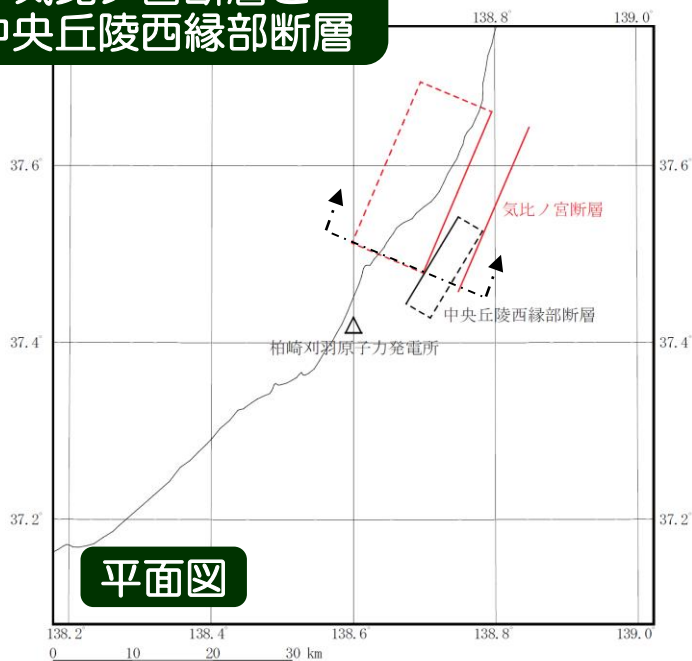
※「地質調査総合センター編(2013)日本重力データベース DVD版」のグリッドデータベースを用いて等重力線を作成した。  
(コンター間隔1mga, 既定密度2.67g/cm<sup>3</sup>)

長岡平野西縁断層帯周辺の重力異常図

# ①地質調査結果の整理（想定される断層面）

■ 中央丘陵西縁部断層，渋海川向斜部のリニアメントについて，東傾斜 $60^\circ$ として想定した断層面は，地震発生層（上端深さ6km）に至る前に気比ノ宮断層あるいは片貝断層と交差する位置関係にある。

気比ノ宮断層と  
中央丘陵西縁部断層



平面図

地表

中央丘陵西縁部断層

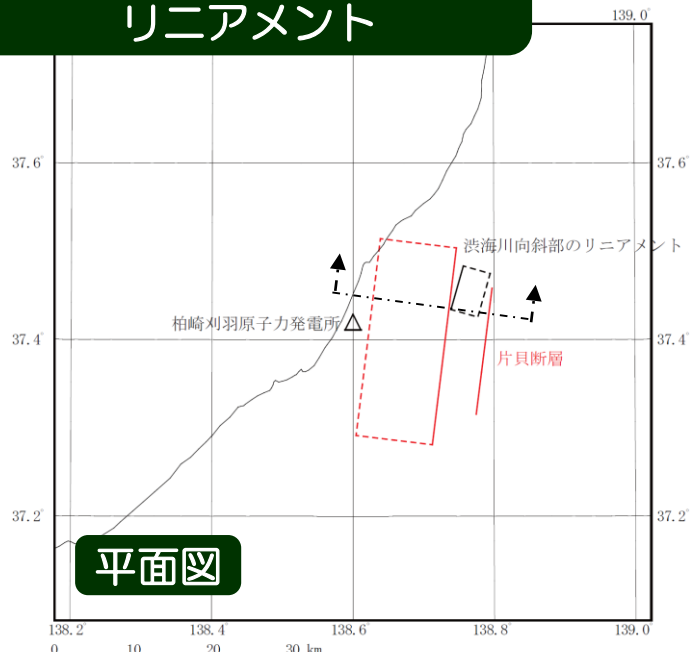
6km

気比ノ宮断層

断面図

17km

片貝断層と渋海川向斜部の  
リニアメント



平面図

地表

渋海川向斜部のリニアメント

6km

片貝断層

断面図

17km

※断面図は走行が平行と仮定した場合の概念図

## ②現状の地震動評価の枠組み（強震動予測レシピ）

- 1995年兵庫県南部地震では、震度7の震災の帯ができ、その原因が周期1秒の強震動パルスであったこと [川瀬(1998)]，その強震動パルスは断層面全体ではなく、アスペリティと呼ばれる狭い領域から放出され、破壊が進行する方向に重なったことが解明されている。 [松島・川瀬(2000), 松島・川瀬(2006)]



- アスペリティモデルの設定方法の確立
  - 修正入倉レシピ [入倉・三宅(2001)]



- 地震本部では、「震源断層を特定した地震の強震動予測手法」（強震動予測レシピ）を策定し強震動評価を実施。ここで、断層モデルの幅は、断層モデル上端深さから地震発生層下端深さの地震発生層の厚さを用いて設定することとしている。

$$\text{地震発生層の厚さ } T_s = H_d - H_s$$

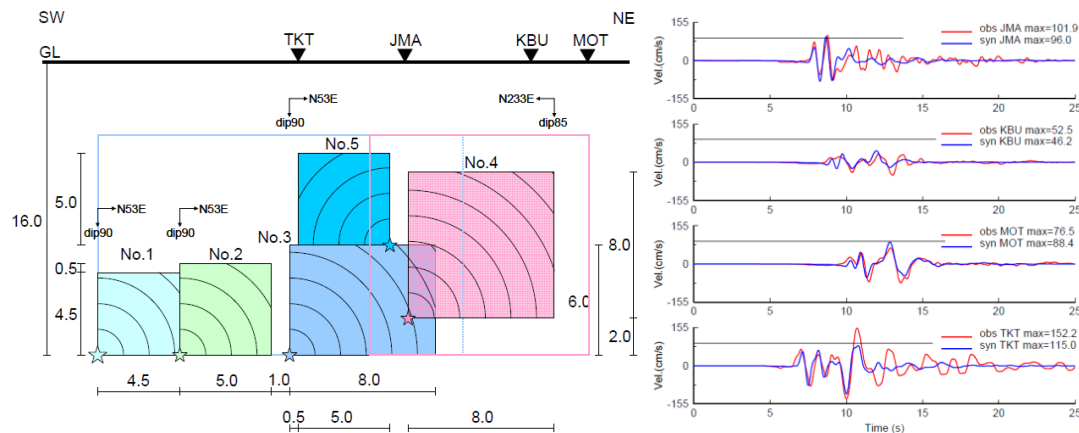
$H_d$ ,  $H_s$  : それぞれ地震発生層下限及び断層モデル上端の深さ (km)  
(微小地震の深さ分布から決めることができる)

また、以下の3地震について手法の検証が行われている。

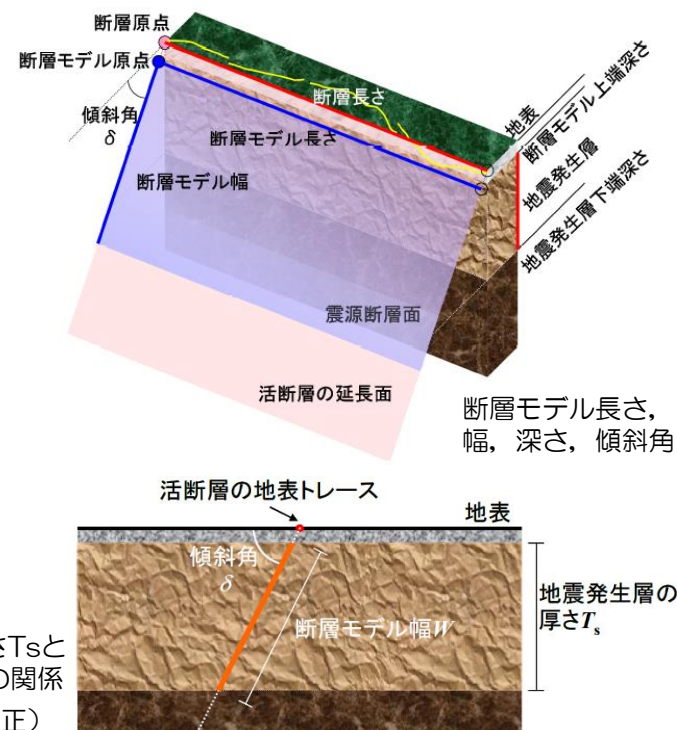
- 2005年福岡県西方沖の地震
- 2003年十勝沖地震
- 2000年鳥取県西部地震

地震発生層の厚さ  $T_s$  と断層モデル幅  $W$  の関係

地震本部(2009)より抜粋 (一部加筆・修正)



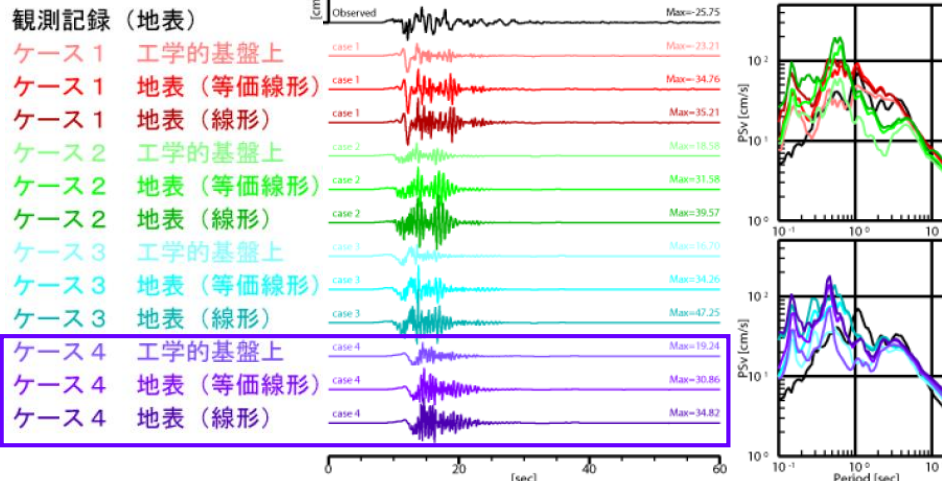
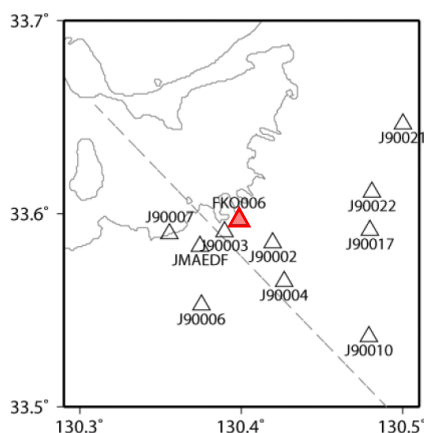
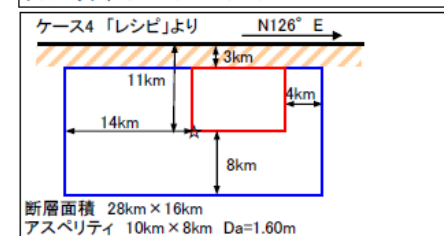
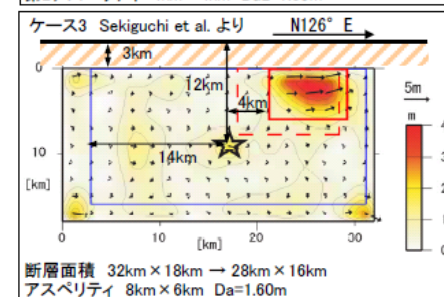
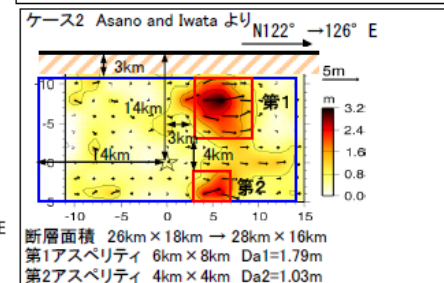
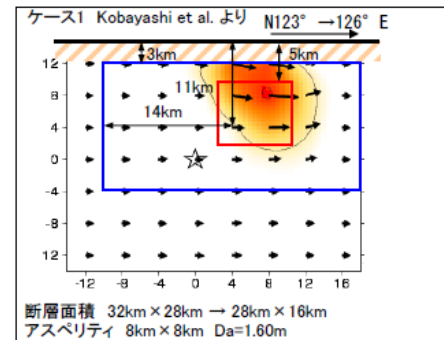
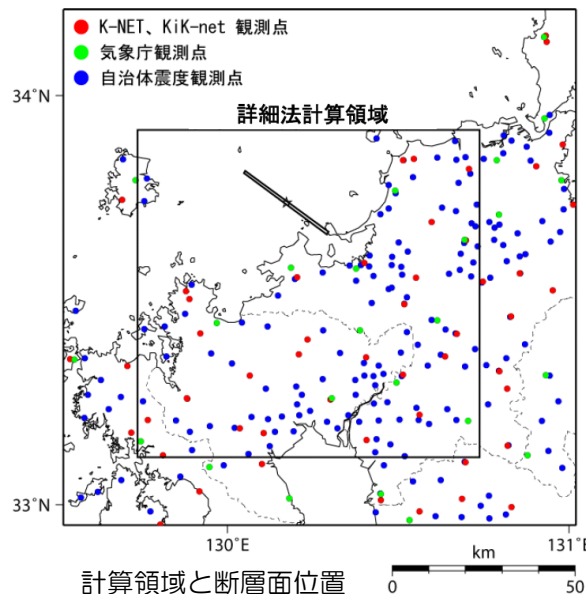
松島・川瀬(2006)による1995年兵庫県南部地震の震源モデルと震源近傍強震動の評価



## ②現状の地震動評価の枠組み（強震動予測レシピの検証例）

- 地震調査委員会強震動評価部会では、「震源断層を特定した地震の強震動予測手法（「レシピ」）」の検証を実施。
- 2005年福岡県西方沖の地震の観測記録に基づいた強震動評価手法の検証では、『現在のレシピによって概ね再現可能であることが確認された。』としている。

ケース1：Kobayashi et al. (2006)に基づく特性化震源モデル  
 ケース2：Asano and Iwata (2006)に基づく特性化震源モデル  
 ケース3：Sekiguchi et al. (2006)に基づく特性化震源モデル  
 ケース4：「レシピ」に基づく特性化震源モデル



地震本部(2008)より抜粋  
 (一部加筆・修正)

観測記録と計算結果との比較  
 (FK0006 K-NET福岡)

強震動評価手法の検証において用いた  
 特性化震源モデル

### ③最新知見の確認

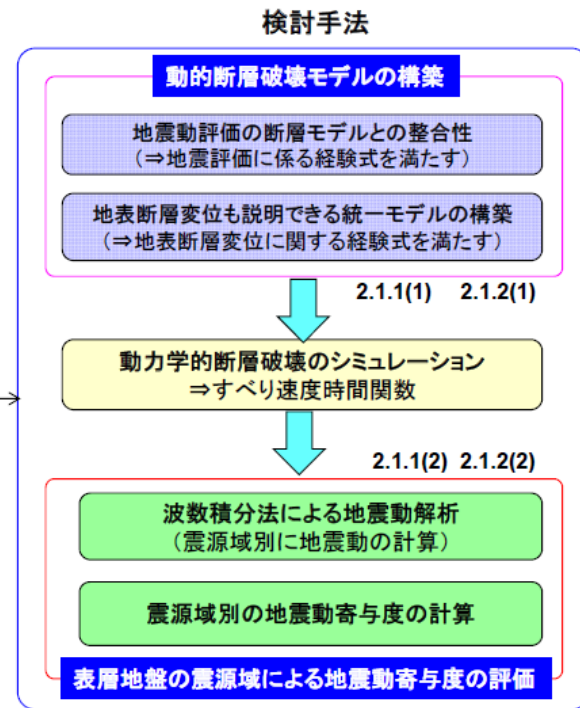
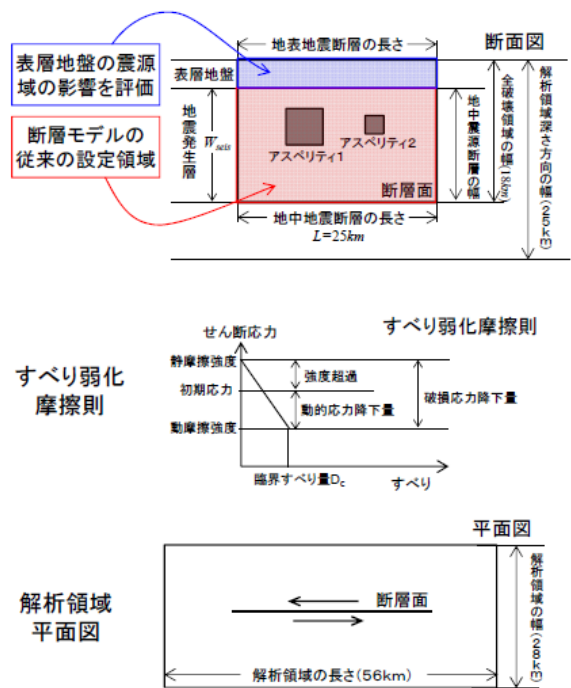
## 動学的断層モデルを用いた震源極近傍の地震動評価

■ 現状、断層モデルを用いた手法による地震動評価は、断層面上の各点でのすべり量とその時刻歴を規定して地震波を生成するモデルであり、弾性波動論による線形計算に基づいている。断層面上の破壊伝播に力学的条件を与えていないことから、物理的な破壊現象が正しくモデル化されない短所を有する。

■ 動学的断層モデルは、断層面上での破壊の伝播を、初期応力分布と破壊の構成則に基づいて評価するモデルであり、断層破壊の進展、停止等の過程を表現することが可能である。破壊の構成則として用いるすべり弱化則（応力とすべり量の関係式）など条件の与え方に課題があり、現在、鋭意研究がなされている。

■ 原子力規制庁(2015)では、表層地盤の震源域における地震動への影響を定量的に評価する目的で、動学的断層モデルを用いた検討が行われている。このうち、逆断層を対象とした震源極近傍の地震動評価において、以下の結論が得られている。

- 断層直交成分(Fault Normal)では、深い震源域からの地震動が支配的である。
- 断層平行成分(Fault Parallel)では、地表断層から2km以上離れると、表層地盤の震源域による影響は無視できる程度に下がる。



平成26年度 事後評価調査票 (D05) 福島第一事故を踏まえた震源極近傍の地震動評価の高度化

原子力規制庁(2015)より抜粋 (一部加筆・修正)

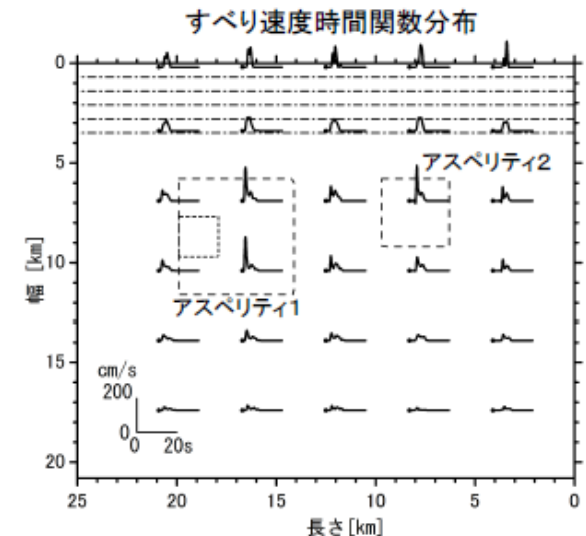
# ③最新知見の確認

## 動学的断層モデルを用いた震源極近傍の地震動評価

### 2.1.2 逆断層を対象とした震源極近傍の地震動評価

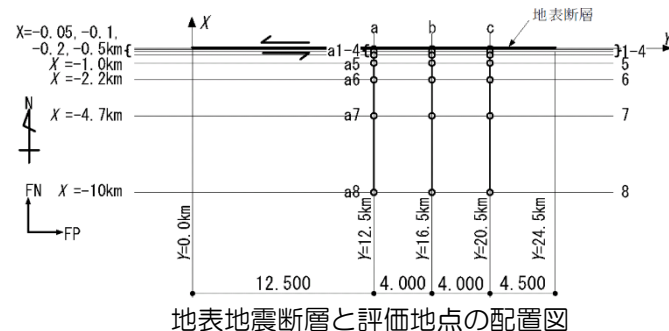
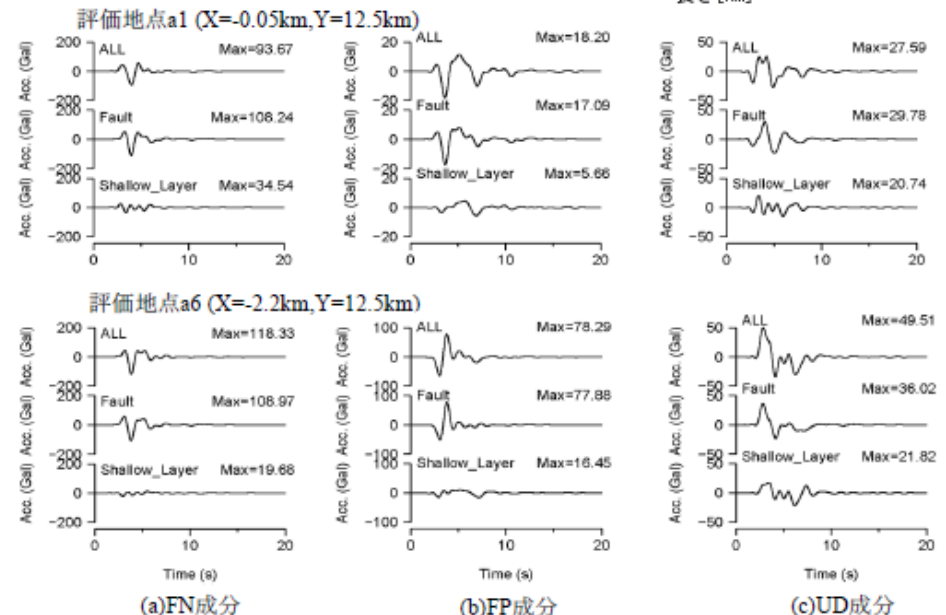
#### 【内容】

- ▶ 長さ25km、傾斜角60度の逆断層を対象とし、断層上端が地表に達するモデルを設定した。(表層地盤:深さ0~3 km、地震発生層:深さ3~18 km)
- ▶ アスペリティの上端深さを5 kmとし、アスペリティ面積を調整して計算地震動を距離減衰式と整合させた断層モデルを設定した。  
 ⇒アスペリティの大きさ:5.8 km×5.8 km&3.4 km×3.4 km  
 動的応力降下量:11MPa  
 地表地盤のS波速度:1.55 km/s
- ▶ 動学的断層破壊シミュレーションで得られたすべり時間関数を用いて、波数積分法に基づく理論波形を計算し、表層地盤と地震発生層におけるそれぞれの震源域による地震動の寄与度を調べた。



#### 【結果】

- ▶ FN成分が最も大きく、深い震源域からの地震動が支配的である。
- ▶ FP成分では、地表断層から2km以上離れると、表層地盤の震源域による影響は無視できる程度に下がる。



地表地震断層と評価地点の配置図

原子力規制庁(2015)より抜粋(一部加筆・修正)

加速度時刻歴波形の比較

# 副次的な断層等に関する検討のまとめ

■ 副次的な断層等に関して以下の項目について整理を行い、敷地における地震動評価に大きな影響を与えないと考えられることから、「震源として考慮する活断層」として表1のとおりまとめることとした。

## ①地質調査結果の整理

副次的な断層等は、地震発生層（上端深さ6km）に到達しない極浅い部分のみに認められ、また、断層面を想定した場合にも、地震発生層に至る前に主断層と交差する位置関係にある。

## ②現状の地震動評価の枠組み

地震動評価の現状の枠組みでは、地震発生層より浅い部分の影響は考慮せず、震源断層は地震発生層の中に設定する。なお、現状の手法は、複数の地震に対して検証がなされている。

## ③最新知見の確認

動力学的断層モデルを用いた検討によると、逆断層のケースでは深い震源域からの地震動が支配的であり、浅い部分の影響は2km以上離れると無視できる程度に下がるとされている。

現状の枠組みでは、地震発生層に至らない断層は地震動評価に与える影響はない。

仮に最新の知見を考慮した場合においても敷地から2km以上離れていることからその影響は小さいと考えられる。



表1. 敷地周辺の震源として考慮する活断層の諸元と分布図

	No.	活断層の名称	断層長さ (km)	地震規模	傾斜角 (°)	断層幅 (km)		備考	
						荒浜	大湊		
海域	1	佐渡島棚東縁断層	37	6.8	西55	15	55	53	佐渡島棚東縁撓曲に対応
	2	F-B断層	27	6.8	東35	20	14	14	F-B褶曲群に対応
	3	佐渡島南方断層	29	6.8	東45	16	26	25	
	4	F-D断層	30	6.8	東45	16	38	39	F-D褶曲群に対応
	5	高田冲断層	25	6.8	東30	22	59	60	高田冲褶曲群に対応
	6	米山冲断層	21	6.8	西50	15	25	26	
陸域	7	角田・弥彦断層	54	7.1	西50	15	51	49	
	8	気比ノ宮断層	22	6.8	西50	15	21	20	
	9	片貝断層	16	6.8	西50	15	14	14	
	10	悠久山断層	13	6.8	東80	12	27	26	孤立した短い活断層
	11	半蔵金付近のリニアメント	9	6.8	西50	15	25	25	孤立した短い活断層
	12	柏崎平野南東縁のリニアメント	4	6.8	東80	12	15	16	孤立した短い活断層
	13	山本山断層	4	6.8	西50	15	21	21	孤立した短い活断層
	14	水上断層	4	6.8	西50	15	15	16	孤立した短い活断層
	15	上米山断層	6	6.8	西50	15	17	18	孤立した短い活断層
	16	雁海断層	7	6.8	北50	15	17	18	孤立した短い活断層
	17	十日町断層帯西部	33	6.8	西60	13	32	33	

1. 地震発生層の設定
2. 検討用地震の選定
  - 2.1 孤立した短い活断層
  - 2.2 副次的な断層等
  - 2.3 被害地震の選定
  - 2.4 検討用地震の選定
3. F-B断層による地震の地震動評価
  - 3.1 震源モデルの設定と不確かさの考え方
  - 3.2 応答スペクトルに基づく地震動評価
  - 3.3 断層モデルを用いた手法による地震動評価
  - 3.4 評価の妥当性に関する検討
4. 長岡平野西縁断層帯による地震の地震動評価
  - 4.1 震源モデルの設定と不確かさの考え方
  - 4.2 応答スペクトルに基づく地震動評価
  - 4.3 断層モデルを用いた手法による地震動評価
  - 4.4 評価の妥当性に関する検討
5. 基準地震動の策定
6. 佐渡島南方～魚津断層帯による地震の地震動評価



# 被害地震の選定プロセス

- 検討用地震の選定に先立ち、敷地に大きな影響を与えたと考えられる被害地震を以下の流れにより選定。

①過去の地震による敷地への影響を検討するために、敷地からの震央距離が200km程度以内の地震を対象として被害地震を選定。

②気象庁震度階級関連解説表によると、地震により建物等に被害が発生するのは震度5弱（1996年以前は震度V）程度以上であることから、敷地に大きな影響を与える地震として、敷地周辺における揺れが震度5弱（震度V）程度以上のものを選定。

②-1 宇佐美ほか(2013)に記載されている震度分布図で、敷地周辺における揺れが震度5弱（震度V）程度以上であったと推定される地震を選定。

②-2 なお、敷地周辺の震度並びに建物等の被害が明らかでない地震については、地震規模及び震央距離と震度との関係から敷地における震度を推定し、敷地周辺における揺れが震度5弱（震度V）程度以上と推定される地震が無いことを確認する。

## ● 木造建物（住宅）の状況

震度階級	木造建物(住宅)	
	耐震性が高い	耐震性が低い
5弱	—	壁などに軽微なひび割れ・亀裂がみられることがある。
5強	—	壁などにひび割れ・亀裂がみられることがある。
6弱	壁などに軽微なひび割れ・亀裂がみられることがある。	壁などのひび割れ・亀裂が多くなる。壁などに大きなひび割れ・亀裂が入ることがある。瓦が落下したり、建物が傾いたりすることがある。倒れるものもある。
6強	壁などにひび割れ・亀裂がみられることがある。	壁などに大きなひび割れ・亀裂が入るものが多くなる。傾くものや、倒れるものが増える。
7	壁などのひび割れ・亀裂が多くなる。まれに傾くことがある。	傾くものや、倒れるものがさらに多くなる。

(注1) 木造建物(住宅)の耐震性により2つに区分けた。耐震性は、建築年代の新しいものほど高い傾向があり、概ね昭和56年(1981年)以前は耐震性が低く、昭和57年(1982年)以降には耐震性が高い傾向がある。しかし、構法の違いや壁の配置などにより耐震性に幅があるため、必ずしも建築年代が古いというだけで耐震性の高低が決まるものではない。既存建築物の耐震性は、耐震診断により把握することができる。

(注2) この表における木造の壁のひび割れ、亀裂、損壊は、土壁(割り竹下地)、モルタル仕上壁(ラス、金網下地を含む)を想定している。下地の弱い壁は、建物の変形が少ない状況でも、モルタル等が剥離し、落下しやすくなる。

(注3) 木造建物の被害は、地震の際の地震動の周期や継続時間によって異なる。平成20年(2008年)岩手・宮城内陸地震のように、震度に比べ建物被害が少ない事例もある。

## ● 鉄筋コンクリート造建物の状況

震度階級	鉄筋コンクリート造建物	
	耐震性が高い	耐震性が低い
5強	—	壁、梁(はり)、柱などの部材に、ひび割れ・亀裂が入ることがある。
6弱	壁、梁(はり)、柱などの部材に、ひび割れ・亀裂が入ることがある。	壁、梁(はり)、柱などの部材に、ひび割れ・亀裂が多くなる。
6強	壁、梁(はり)、柱などの部材に、ひび割れ・亀裂が多くなる。	壁、梁(はり)、柱などの部材に、斜めやX状のひび割れ・亀裂がみられることがある。1階あるいは中間階の柱が崩れ、倒れるものがある。
7	壁、梁(はり)、柱などの部材に、ひび割れ・亀裂がさらに多くなる。1階あるいは中間階が変形し、まれに傾くものがある。	壁、梁(はり)、柱などの部材に、斜めやX状のひび割れ・亀裂が多くなる。1階あるいは中間階の柱が崩れ、倒れるものが増える。

(注1) 鉄筋コンクリート造建物では、建築年代の新しいものほど耐震性が高い傾向があり、概ね昭和56年(1981年)以前は耐震性が低く、昭和57年(1982年)以降は耐震性が高い傾向がある。しかし、構造形式や平面的、立面的な耐震壁の配置により耐震性に幅があるため、必ずしも建築年代が古いというだけで耐震性の高低が決まるものではない。既存建築物の耐震性は、耐震診断により把握することができる。

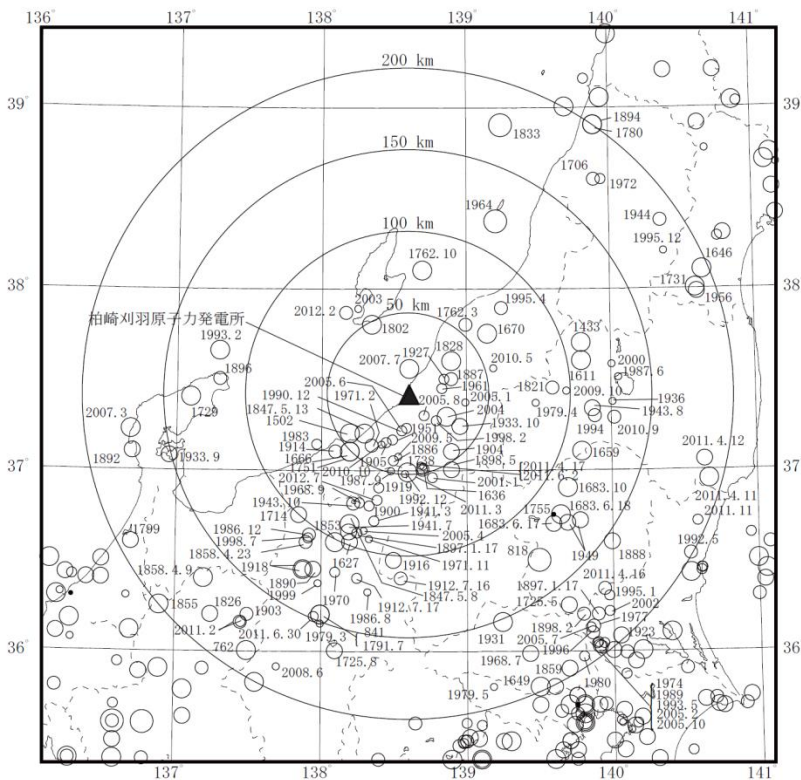
(注2) 鉄筋コンクリート造建物は、建物の主体構造に影響を受けていない場合でも、軽微なひび割れがみられることがある。

気象庁震度階級関連解説表  
気象庁、消防庁(2009)より抜粋

# ①震央距離200km程度以内の被害地震

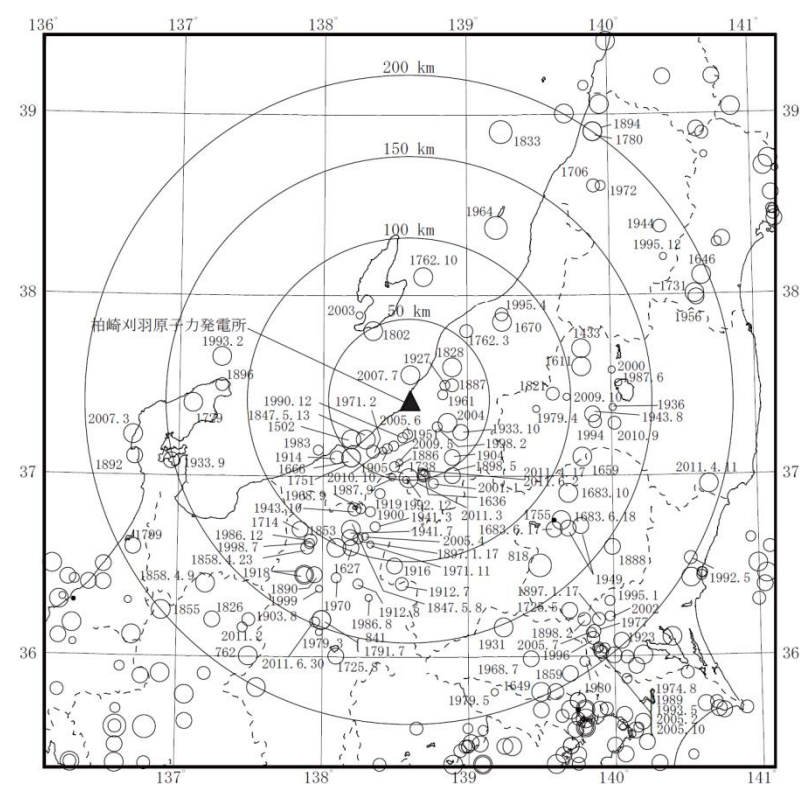
■ 敷地からの震央距離200km程度以内の被害地震について、宇佐美ほか(2013)を用い、対象期間416年~2012年として抽出した場合を整理。

## 宇佐美ほか(2013)



※対象期間416年~2012年

## 【参考】従来評価 宇佐美(2003) + 気象庁地震カタログ



※対象期間416年~2011年

被害地震の震央分布図

## ②-1 震度分布による選定 敷地周辺における揺れが震度5弱程度以上であったと推定される地震（その1）

- 震度分布図を確認し、敷地周辺における揺れが震度5弱（震度V）程度以上であったと推定される地震を選定。

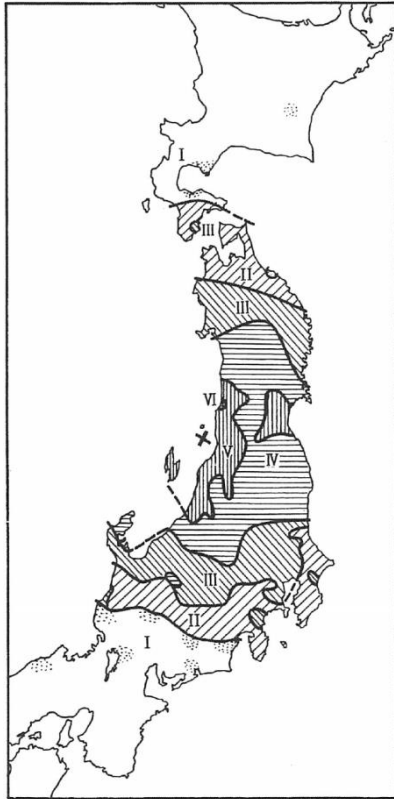


図 562-1 震度分布 [気象庁, 1965, 技術報告, 43]

①1964年新潟地震  
(M7.5)

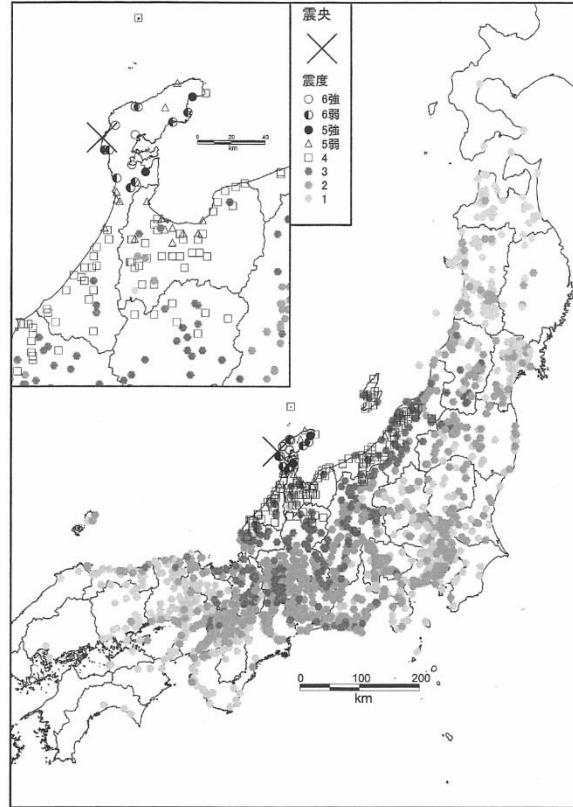


図 807-1 震度分布

②2007年能登半島地震  
(M6.9)

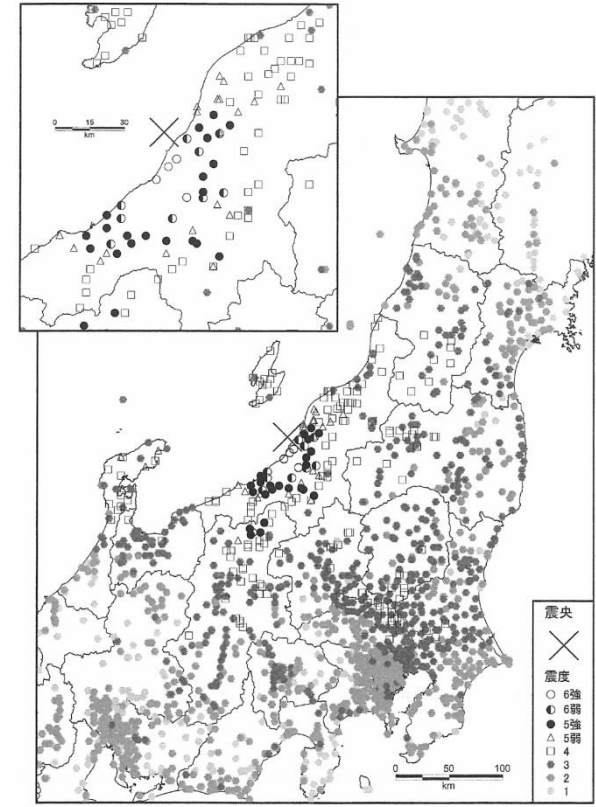


図 811-1 震度分布

③2007年新潟県中越沖地震  
(M6.8)

敷地周辺における揺れが震度5弱（震度V）程度以上であったと推定される地震の震度分布図

宇佐美ほか(2013)より抜粋

## ②-1 震度分布による選定 敷地周辺における揺れが震度5弱程度以上であったと推定される地震（その2）

■ 震度分布図を確認し、敷地周辺における揺れが震度5弱（震度V）程度以上であったと推定される地震を選定。

◎ VII	● V	S 強地震
⊙ VI~VII	△ IV~V	E 大地震
○ VI	□ IV	M 中地震
◐ V~VI	▽ III~IV	e 地震

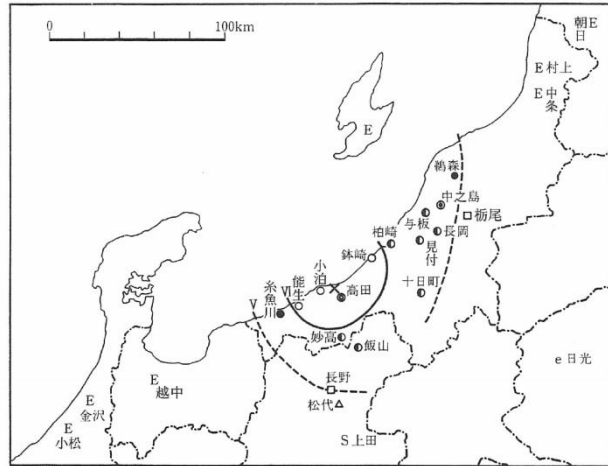


図 185-1 震度分布

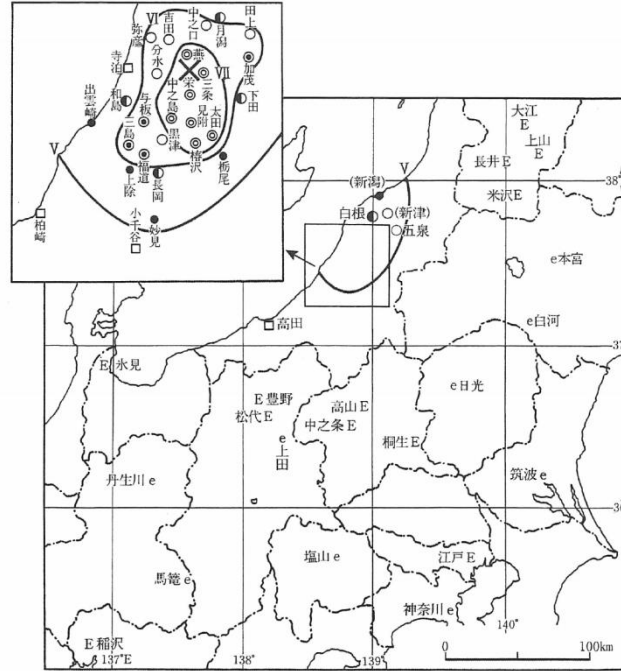


図 235-1 震度分布

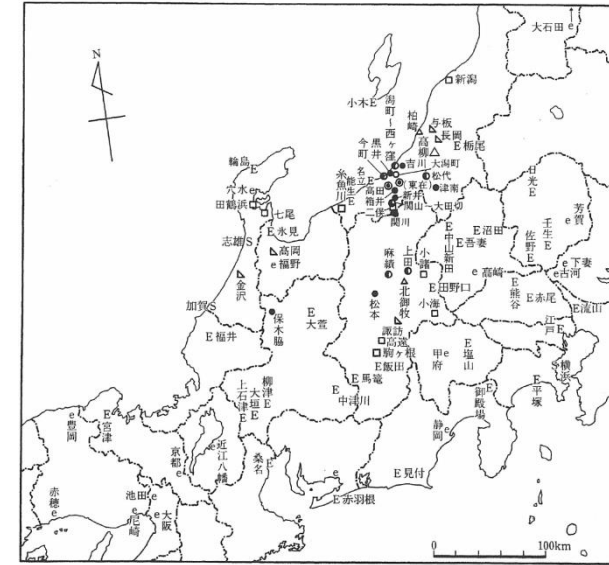


図 248-1A 震度分布

④ 1751年越後の地震  
(M7.2)

⑤ 1828年越後の地震  
(M6.9)

⑥ 1847年善光寺地震  
(M7.4)

敷地周辺における揺れが震度5弱（震度V）程度以上であったと推定される地震の震度分布図

## ②-1 震度分布による選定 敷地周辺における揺れが震度5弱程度以上であったと推定される地震（その3）

■ 震度分布図を確認し、敷地周辺における揺れが震度5弱（震度V）程度以上であったと推定される地震を選定。

◎ VII	● V	S 強地震
⊙ VI~VII	△ IV~V	E 大地震
○ VI	□ IV	M 中地震
● V~VI	△ III~IV	e 地震

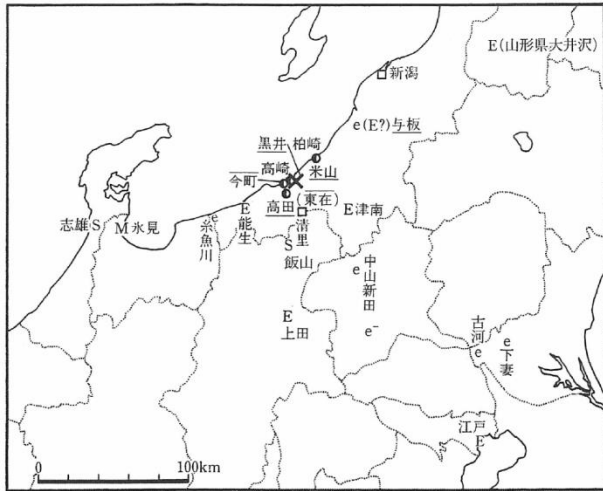


図 249-1 震度分布

⑦ 1847年越後頸城郡の地震 (M6.5)

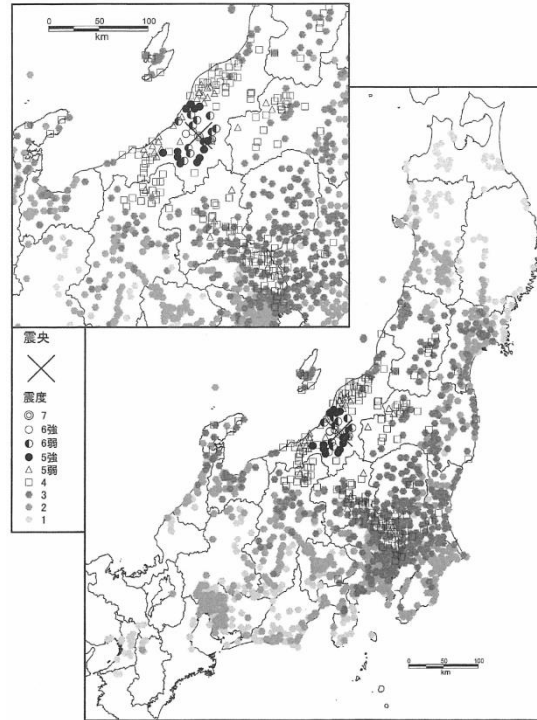


図 778-1 震度分布

⑧ 2004年新潟県中越地震 (M6.8)

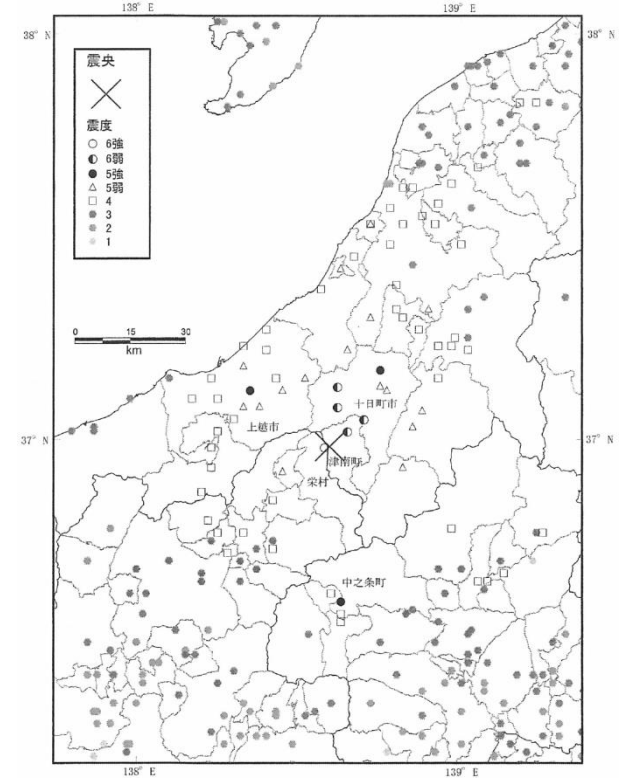


図 842-2 震度分布（震央付近）

⑨ 2011年長野県北部の地震 (M6.7)

敷地周辺における揺れが震度5弱（震度V）程度以上であったと推定される地震の震度分布図

宇佐美ほか(2013)より抜粋

## ②-1 震度分布による選定 震度分布図により敷地周辺の揺れが震度5弱未満で除外した例

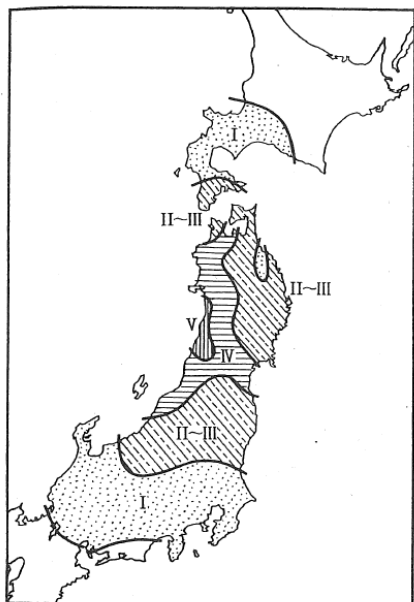


図 311-2 震度分布 [中央気象台, 1897, 地震報告, 51-57]

### 1894年庄内地震 (M7.0)

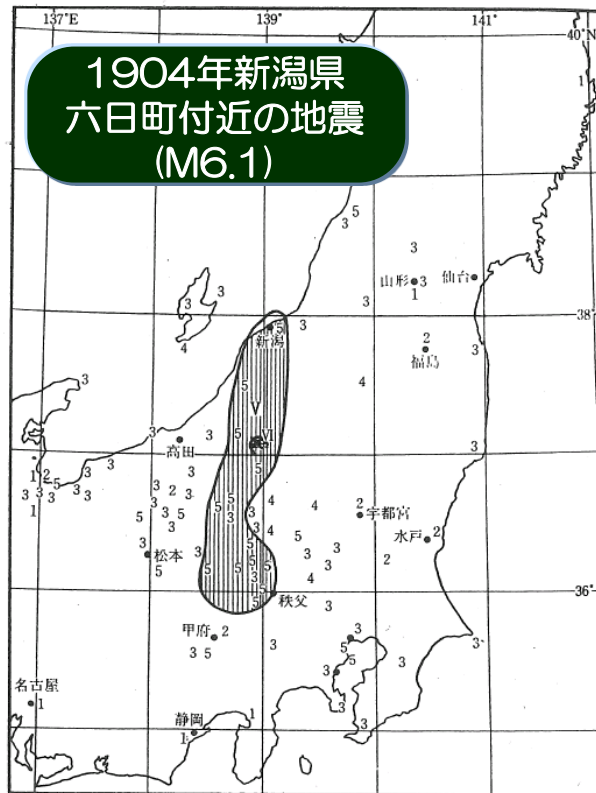


図 356-1 震度分布

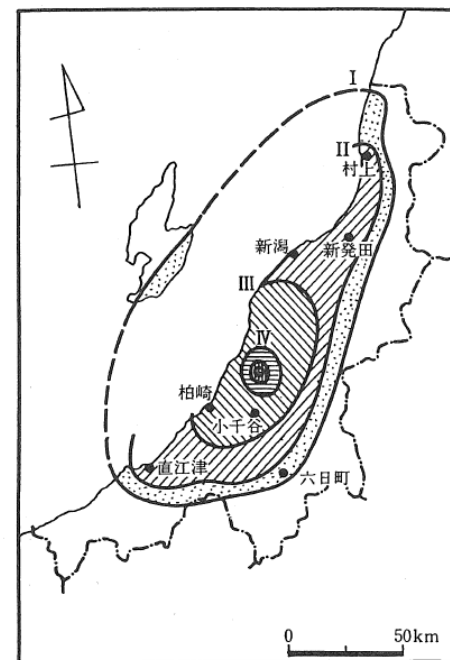


図 547-1 震度分布 [新潟地方気象台・長岡気象通報所, 1961]

### 1961年長岡付近の地震 (M5.2)

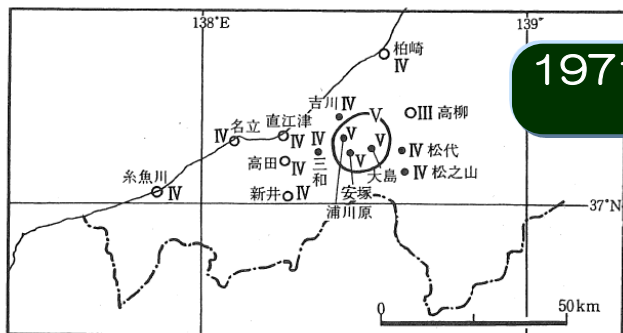


図 599-1 震度分布 [気象庁, 1971, 予知速会報, 6, 7-11]

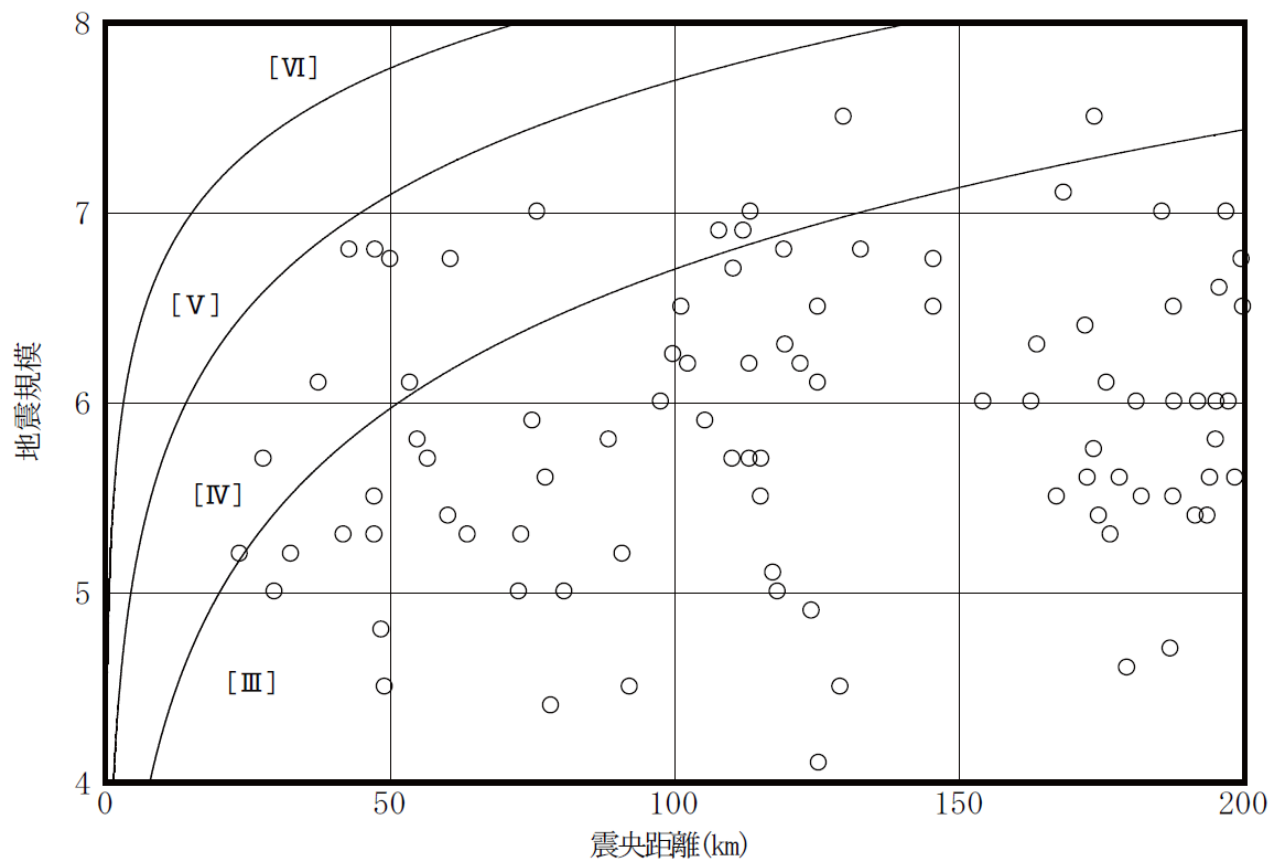
■ 震度分布図を確認し、敷地周辺における揺れが震度5弱（震度V）程度未満であったと推定され、対象から除外した地震の震度分布図を例示。

敷地周辺における揺れが震度5弱（震度V）程度未満であったと推定される地震の震度分布図の例

宇佐美ほか(2013)より抜粋

## ②-2 M-Δ図による確認

- 敷地周辺の震度並びに建物等の被害が明らかでない地震については、松村(1969)および勝又・徳永(1971)による地震規模及び震央距離と震度との関係 (M-Δ図) から敷地における震度を推定。
- 敷地周辺における揺れが震度5弱 (震度V) 程度以上と推定される地震は認められないことを確認。



※地震諸元は、宇佐美ほか(2013)による。地震諸元が幅をもって示されている場合は、その中央値を採用。

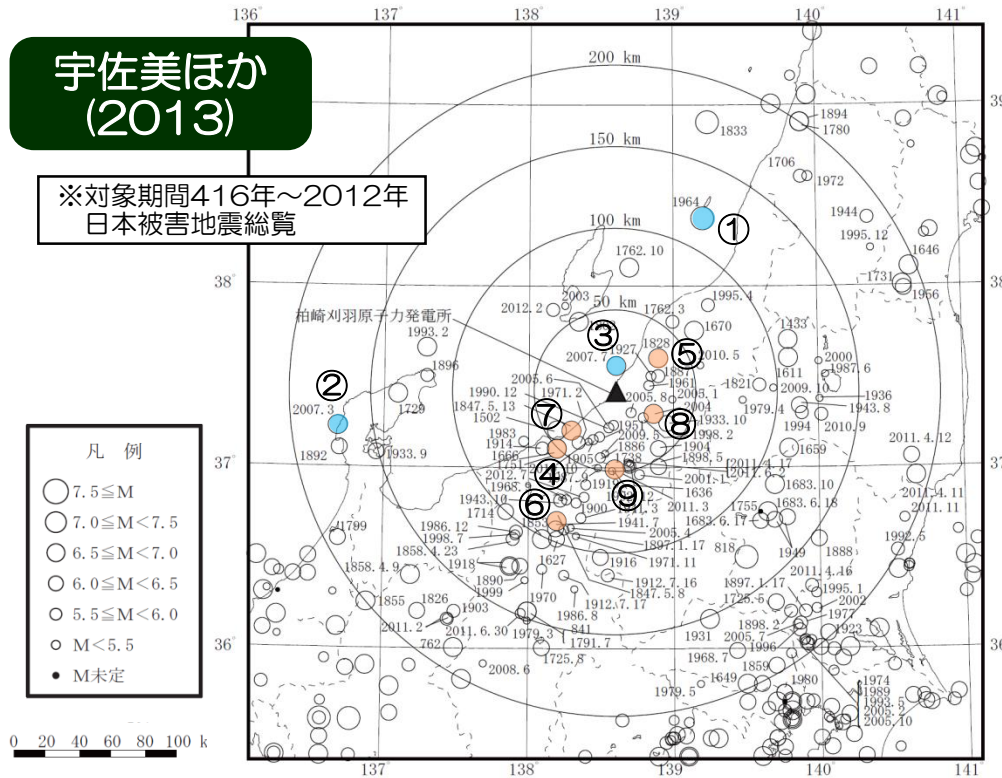
※ [III] ~ [VI] は、1996年以前の気象庁震度階で、震度階の境界線は、松村(1969)及び勝又・徳永(1971)による。

敷地周辺の震度並びに建物等の被害が明らかでない被害地震のM-Δ図

# 敷地周辺における揺れが震度5弱（震度V）程度以上であったと推定される地震の選定結果

## 宇佐美ほか (2013)

※対象期間416年～2012年  
日本被害地震総覧

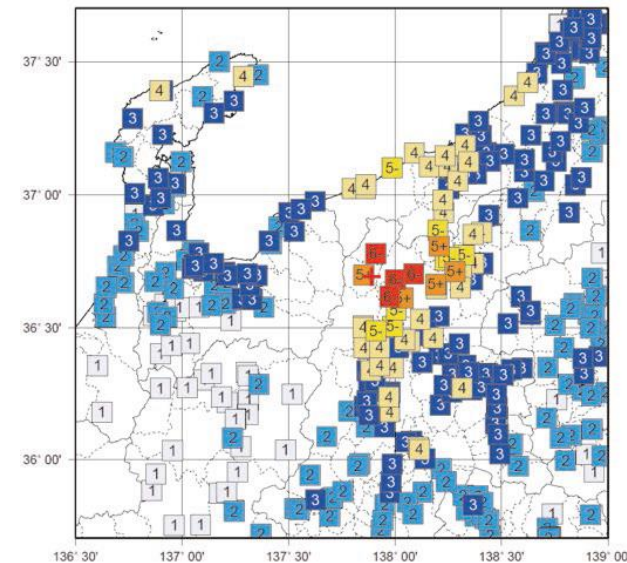


■ 敷地における揺れが震度5弱（震度V）程度以上と推定される地震は、宇佐美ほか(2013)によった場合においてもこれまでの評価と同様の9地震であることを確認。

	地震名	地震規模
海域	① 1964年 新潟地震	7.5
	② 2007年 能登半島地震	6.9
	③ 2007年 新潟県中越沖地震	6.8
陸域	④ 1751年 越後の地震	7.2
	⑤ 1828年 越後の地震	6.9
	⑥ 1847年 善光寺地震	7.4
	⑦ 1847年 越後頸城郡の地震	6.5
	⑧ 2004年 新潟県中越地震	6.8
	⑨ 2011年 長野県北部の地震	6.7

■ なお、宇佐美ほか(2013)に収録されている2012年以降、新潟県において5弱以上の震度をもたらした地震は2014年11月22日の長野県北部の地震(M6.7)のみであり、その際の敷地周辺での震度は3~4であったため、選定結果に追加すべき地震は無いと考えられる。

2014年長野県北部の地震(M6.7)の震度分布 (気象庁)





## 1. 地震発生層の設定

## 2. 検討用地震の選定

2.1 孤立した短い活断層

2.2 副次的な断層等

2.3 被害地震の選定

2.4 検討用地震の選定

## 3. F-B断層による地震の地震動評価

3.1 震源モデルの設定と不確かさの考え方

3.2 応答スペクトルに基づく地震動評価

3.3 断層モデルを用いた手法による地震動評価

3.4 評価の妥当性に関する検討

## 4. 長岡平野西縁断層帯による地震の地震動評価

4.1 震源モデルの設定と不確かさの考え方

4.2 応答スペクトルに基づく地震動評価

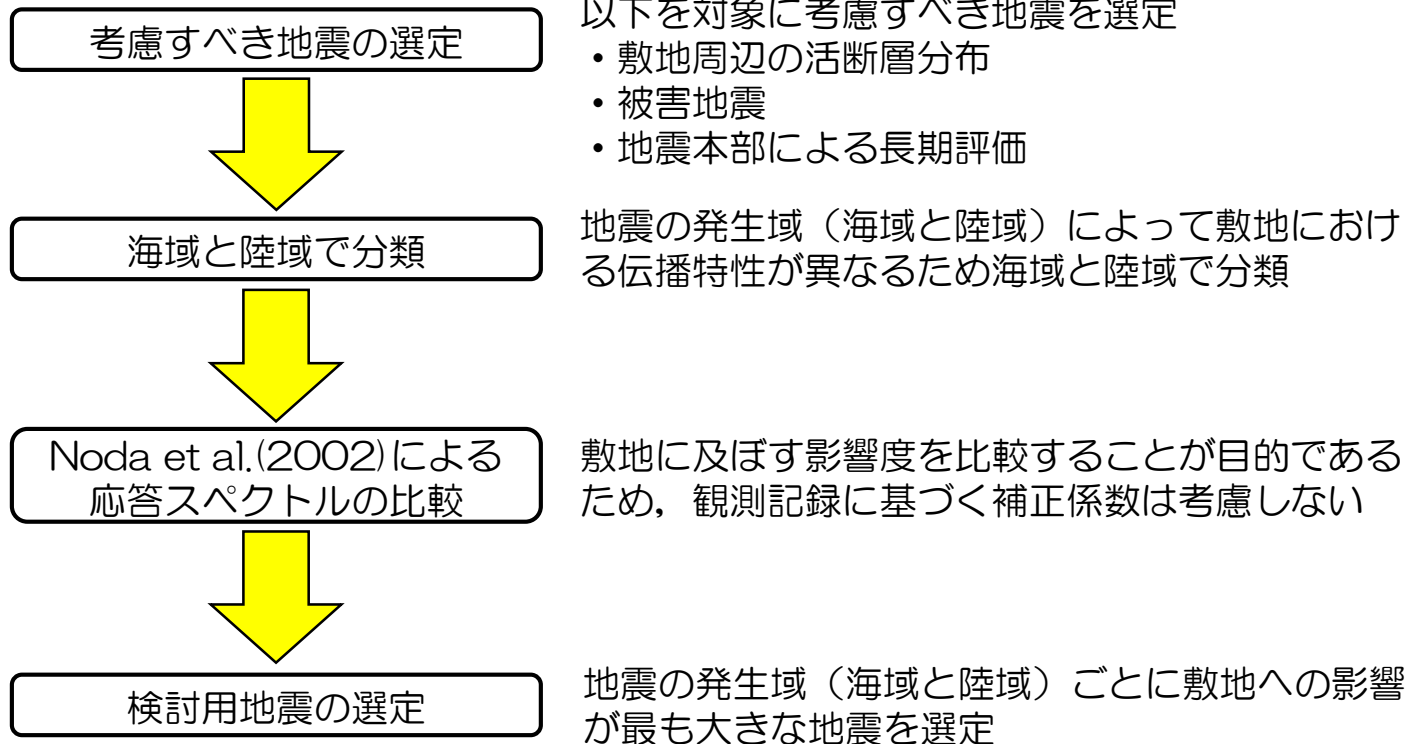
4.3 断層モデルを用いた手法による地震動評価

4.4 評価の妥当性に関する検討

## 5. 基準地震動の策定

## 6. 佐渡島南方～魚津断層帯による地震の地震動評価

- 伝播特性を考慮して下図フローに従い、検討用地震を選定。

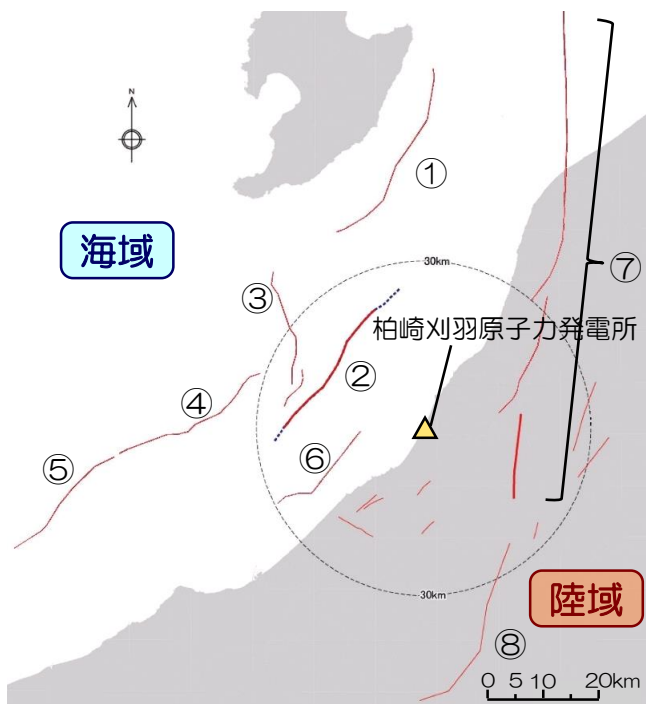


# 考慮すべき地震の選定及び海域と陸域の分類

## 敷地周辺の震源として考慮する活断層の分布

■ 地質調査結果及び地震本部(2009)の検討状況及び孤立した短い活断層，副次的な断層に関する検討を踏まえ，敷地周辺の震源として考慮する活断層を再整理した結果を表1に示す。

表1. 敷地周辺の震源として考慮する活断層の諸元



No.	活断層の名称	断層長さ(km)	地震規模※1	傾斜角(°)※2	断層幅(km)※3	Xeq(km)※4		備考
						荒浜	大湊	
1	佐渡島棚東縁断層	37	6.8	西55	15	55	53	佐渡島棚東縁撓曲に対応
2	F-B断層	36	7.0	東35	20	13	13	地質調査結果における断層長さの不確かさを考慮
3	佐渡島南方断層	29	6.8	東45	16	26	25	
4	F-D断層	30	6.8	東45	16	38	39	F-D褶曲群に対応
5	高田冲断層	25	6.8	東30	22	59	60	高田冲褶曲群に対応
6	米山冲断層	21	6.8	西50	15	25	26	
7	長岡平野西縁断層帯	91	7.5	西50	15	25	25	地震本部(2009)等を踏まえ、角田・弥彦～気比ノ宮～片貝断層の同時活動を考慮
8	十日町断層帯西部	33	6.8	西60	13	32	33	

※1：地震規模は，中越沖地震の知見を踏まえて設定。

※2：断層の傾斜角について，F-B断層は，中越沖地震の余震分布による傾斜角をここでは記載。その他は，地質調査結果及び地震本部(2009)による長期評価を参考に設定。

※3：断層幅は，地震発生層厚さ11km及び断層傾斜角に基づき，地震発生層を飽和するように設定。

※4：F-B断層の等価震源距離(Xeq)は，中越沖地震の震源インバージョン結果をもとに断層長さ36kmに拡張した震源モデルに基づき算定。その他は，強震動予測レシピに従い，断層の midpoint を基準として均等配置した断層面を用いて算定。

※：敷地周辺に認められる孤立した短い活断層は，長岡平野西縁断層帯を構成する片貝断層と比較して等価震源距離(Xeq)が遠いことを確認。

# 考慮すべき地震の選定及び海域と陸域の分類

## 敷地周辺の震源として考慮する活断層の分布 連動の不確かさ

敷地周辺の活断層評価における連動の不確かさを考慮。

表1. 活断層評価における連動の不確かさを考慮した震源モデルの諸元

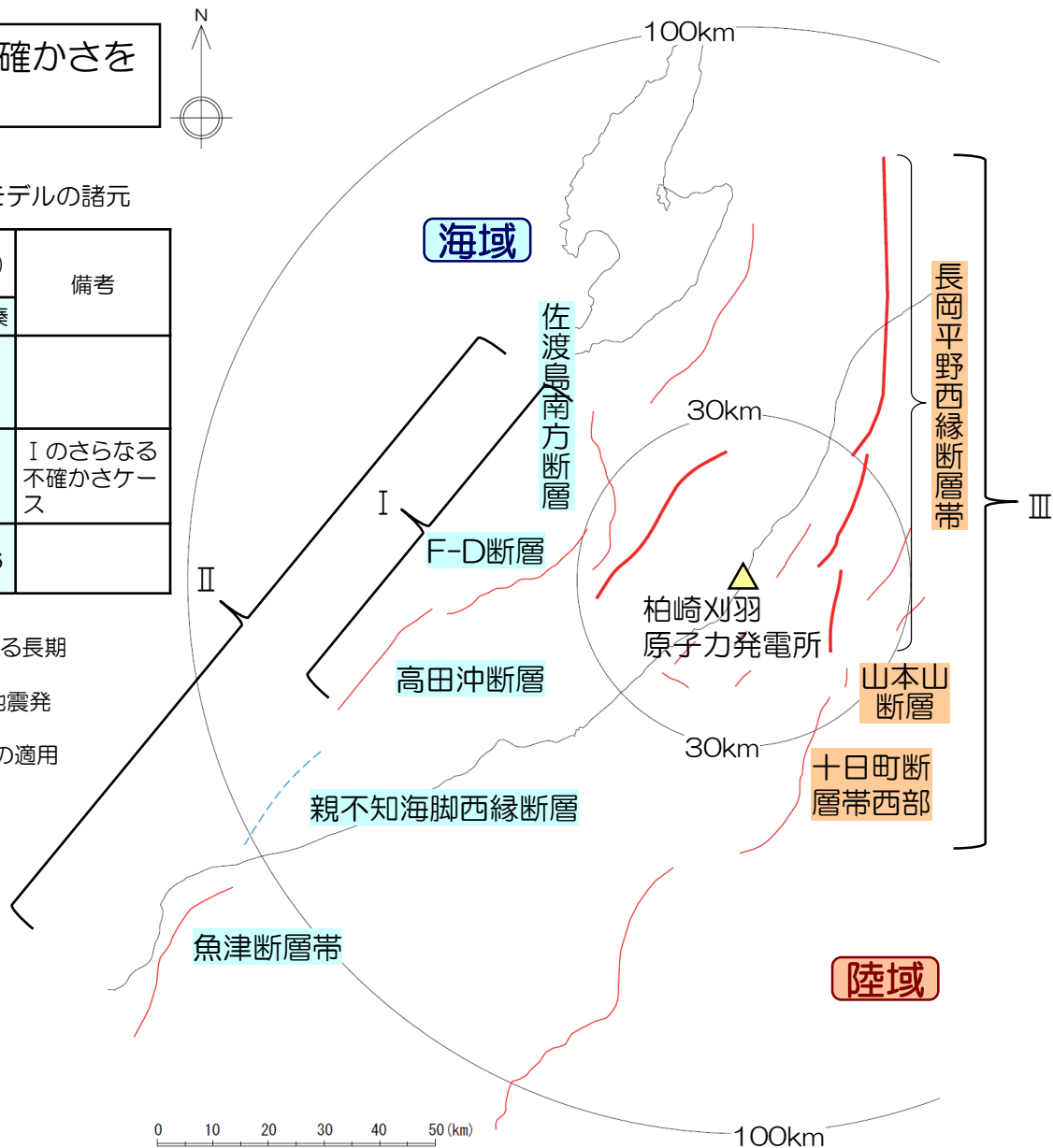
	No.	活断層の名称	断層長さ (km)	地震規模 ※1	傾斜角 (°) ※2	断層幅 (km) ※3	Xeq(km)		備考
							荒浜	大湊	
海域	I	佐渡島南方～F-D～高田沖断層	84	7.6	東35	20	31	31	
	II	佐渡島南方～F-D～高田沖～親不知海脚西縁～魚津断層帯	156	-※4	東35	20	-	-	Iのさらなる不確かさケース
陸域	III	長岡平野西縁断層帯～十日町断層帯西部	132	7.7	西50	15	26	26	

※1：地震規模は、中越沖地震の知見を踏まえて設定。

※2：断層の傾斜角について、地質調査結果、地震本部(2009)による長期評価等を参考に設定。

※3：断層幅は、地震発生層厚さ11km及び断層傾斜角に基づき、地震発生層を飽和するように設定。

※4：参照している地震規模(最大M7.8)を超えているため評価手法の適用範囲外。



# 考慮すべき地震の選定及び海域と陸域の分類

## 被害地震, 地震本部による長期評価

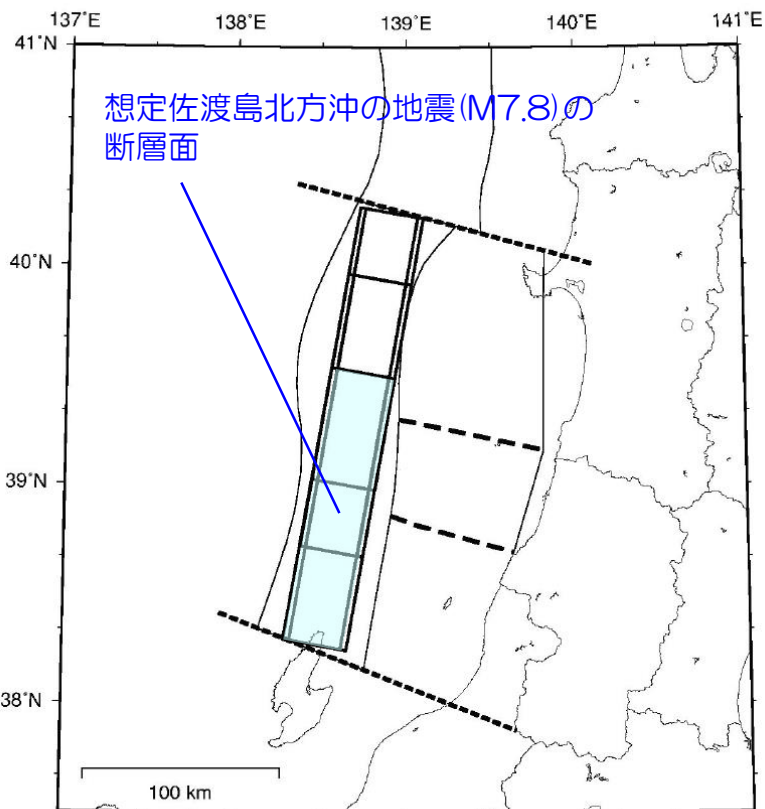
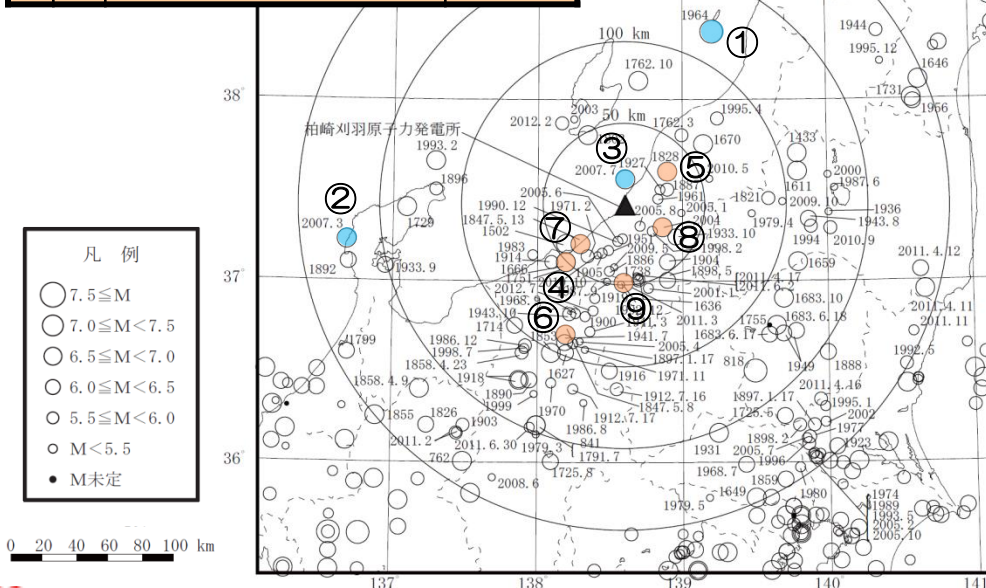
### 被害地震

■ 敷地における揺れが震度5弱（震度V）程度以上と推定される地震を選定。

### 地震本部による長期評価

■ 地震本部による日本海東縁部の地震活動の長期評価を踏まえ、「想定佐渡島北方沖の地震」(M7.8)を想定。

	地震名	地震規模
海域	① 1964年 新潟地震	7.5
	② 2007年 能登半島地震	6.9
	③ 2007年 新潟県中越沖地震	6.8
陸域	④ 1751年 越後の地震	7.2
	⑤ 1828年 越後の地震	6.9
	⑥ 1847年 善光寺地震	7.4
	⑦ 1847年 越後頸城郡の地震	6.5
	⑧ 2004年 新潟県中越地震	6.8
	⑨ 2011年 長野県北部の地震	6.7



地震本部(2009)より抜粋  
(一部加筆・修正)

# 応答スペクトルの比較・検討用地震の選定

- Noda et al.(2002)による応答スペクトルの比較から検討用地震を選定。

海域の地震：F-B断層による地震

陸域の地震：長岡平野西縁断層帯による地震

- なお、長岡平野西縁断層帯～十日町断層帯西部の連動については、長岡平野西縁断層帯の不確かさケースとして考慮。

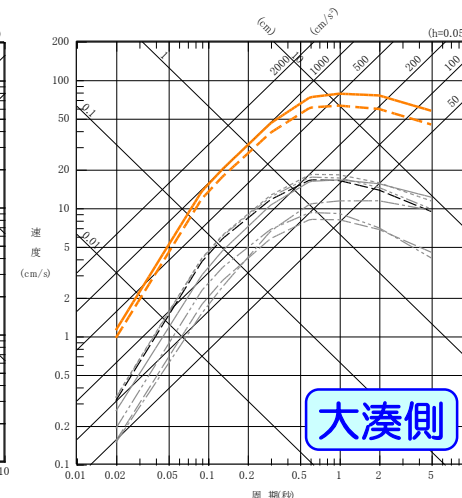
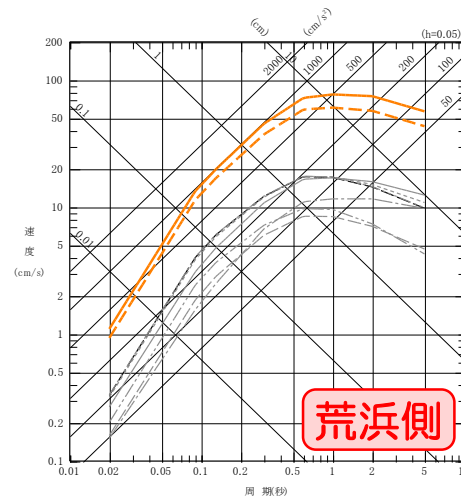
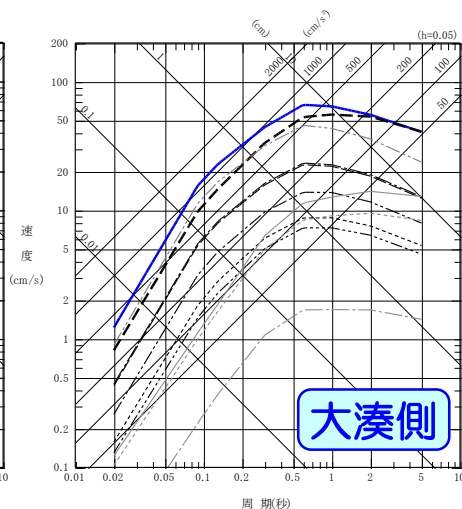
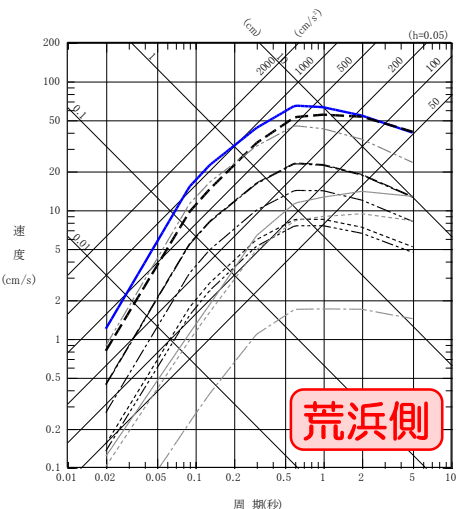
- また、海域の佐渡島南方～F-D～高田沖～親不知海脚西縁～魚津断層帯の連動については、念のため、断層モデルを用いた手法による地震動評価により地震動レベルを確認。

## 海域の地震

- 佐渡島棚東縁断層による地震(M6.8, Xeq=55km, 53km)
- F-B断層による地震(M7.0, Xeq=13km, 13km)
- 佐渡島南方断層による地震(M6.8, Xeq=26km, 25km)
- F-D断層による地震(M6.8, Xeq=38km, 39km)
- 高田沖断層による地震(M6.8, Xeq=59km, 60km)
- 米山沖断層による地震(M6.8, Xeq=25km, 26km)
- 佐渡島南方～F-D～高田沖断層による地震(M7.6, Xeq=31km, 31km)
- 想定佐渡島北方沖の地震(M7.8, Xeq=148km, 147km)
- 1964年新潟地震(M7.5, Xeq=124km, 123km)
- 2007年能登半島地震(M6.9, Xeq=171km, 172km)
- 2007年新潟県中越沖地震(M6.8, Xeq=14km, 14km)

## 陸域の地震

- 長岡平野西縁断層帯による地震(M7.5, Xeq=25km, 25km)
- 十日町断層帯西部による地震(M6.8, Xeq=32km, 33km)
- 1751年越後の地震(M7.2, Xeq=53km, 55km)
- 1828年越後の地震(M6.9, Xeq=36km, 34km)
- 1847年善光寺地震(M7.4, Xeq=90km, 92km)
- 1847年越後頸城郡の地震(M6.5, Xeq=37km, 38km)
- 2004年新潟県中越地震(M6.8, Xeq=32km, 32km)
- 2011年長野県北部の地震(M6.7, Xeq=49km, 51km)
- 長岡平野西縁断層帯～十日町断層帯西部による地震(M7.7, Xeq=26km, 26km)



※凡例の等価震源距離(Xeq)は赤字が荒浜側、青字が大湊側地震規模については、中越沖地震の知見を踏まえて算定。

# 中越沖地震を踏まえた地震規模の設定

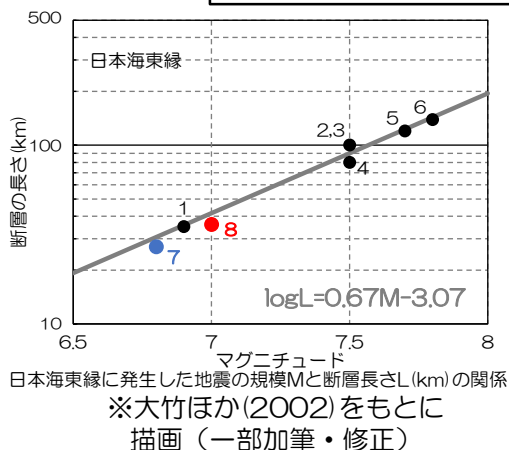
- 中越沖地震が既に発生している地震であることを踏まえ、中越沖地震の物理量を保持するよう、スケーリング則に従いマグニチュードを評価する。
- 具体的には、断層幅が飽和した場合の「地震モーメント( $M_0$ )と断層面積( $S$ )に関するスケーリング則」(①式)、及び「地震モーメントと $M_j$ の関係を与える武村(1998)式」(②式)に基づき、マグニチュードを評価する。

$$M_0 \propto S^2 \dots \text{①式}$$

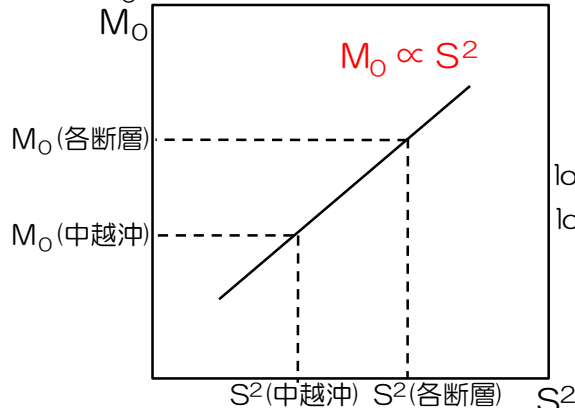
$$\log M_0 = 1.2 M_j + 10.7 \dots \text{②式}$$

- 中越沖地震の面積は以下とする。  
27km × 20km = 540km<sup>2</sup>

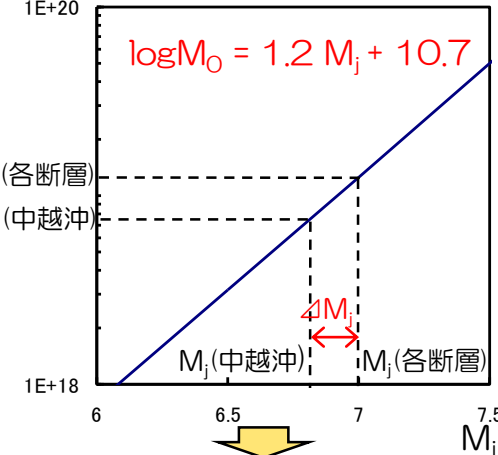
- 既往の文献における、 $M_j$ と断層長さの関係に着目。
- 中越沖地震の周辺で発生した地震のマグニチュード $M_j$ と断層長さの関係には相関性が認められ、中越沖地震の「断層長さ27km：マグニチュード $M_j$ 6.8」は、既往地震の傾向とよく整合。



$M_0$ とSのスケリング(断層幅飽和の場合)



log $M_0$  武村(1998)



$$\frac{M_0(\text{各断層})}{M_0(\text{中越沖})} = \left\{ \frac{S(\text{各断層})}{S(\text{中越沖})} \right\}^2$$

$$\Delta M_j = \left[ \frac{1}{1.2} \right] \left\{ \text{Log} \left[ \frac{M_0(\text{各断層})}{M_0(\text{中越沖})} \right] \right\}$$

$$\Delta M_j = \left[ \frac{2}{1.2} \right] \left\{ \text{Log} \left[ \frac{S(\text{各断層})}{S(\text{中越沖})} \right] \right\}$$

各断層による地震の $M_j$   
=  $M_j$ (中越沖: 6.8) +  $\Delta M_j$   
※例 F-B断層(36km)の時  
 $M_j = 6.8 + 0.2 = 7.0$

No.	地震	M	L(km)	出典
1	1828年越後三条地震	6.9	約35	宇佐美(1996)
2	1833年庄内沖地震	7.5	100	相田(1989)
3	1940年積丹半島沖地震	7.5	100	Satake(1986)
4	1964年新潟地震	7.5	80	Abe(1975)
5	1983年日本海中部地震	7.7	120	Sato(1985)
6	1993年北海道南西沖地震	7.8	139	Tanioka et al. (1995)
7	2007年新潟県中越沖地震	6.8	27	各機関公表値
8	F-B断層による地震	7.0	36	設定値

1. 地震発生層の設定
2. 検討用地震の選定
  - 2.1 孤立した短い活断層
  - 2.2 副次的な断層等
  - 2.3 被害地震の選定
  - 2.4 検討用地震の選定
3. F-B断層による地震の地震動評価
  - 3.1 震源モデルの設定と不確かさの考え方
  - 3.2 応答スペクトルに基づく地震動評価
  - 3.3 断層モデルを用いた手法による地震動評価
  - 3.4 評価の妥当性に関する検討
4. 長岡平野西縁断層帯による地震の地震動評価
  - 4.1 震源モデルの設定と不確かさの考え方
  - 4.2 応答スペクトルに基づく地震動評価
  - 4.3 断層モデルを用いた手法による地震動評価
  - 4.4 評価の妥当性に関する検討
5. 基準地震動の策定
6. 佐渡島南方～魚津断層帯による地震の地震動評価



### 3. F-B断層による地震の地震動評価

		内容	説明概要	ページ
6	H27 4/10 4/24	断層長さの不確かさを考慮した場合を基本として、その他の不確かさを考慮する必要がないか、不確かさの考え方について説明すること。	<ul style="list-style-type: none"> <li>不確かさの考え方について整理してご説明。</li> <li>地質調査結果として断層長さ36kmが条件として得られた場合の、強震動予測レシビに基づく震源モデルの設定及び不確かさの影響について検討した結果をご説明。</li> </ul>	58~74 97~103
7	H27 4/24	不確かさの考え方に関して、その根拠と妥当性について詳細に説明すること。	<ul style="list-style-type: none"> <li>不確かさの考え方について整理してご説明。</li> </ul>	58~74 97~103
8	H27 2/13 4/24	経験的グリーン関数法により評価を実施しているが、統計的グリーン関数法や中越沖地震時の要因分析に用いた地下構造モデルを利用した評価を行うなど、現状の地震動評価の妥当性を示すための検討を行うこと。	<ul style="list-style-type: none"> <li>統計的グリーン関数法による評価結果等を示し、現状の地震動評価結果の妥当性についてご説明。</li> </ul>	123~127
9	H27 4/24	要素地震の加速度フーリエスペクトル振幅において、理論値と観測値のフィッティングについて解説を加えること。	<ul style="list-style-type: none"> <li>震源特性、伝播特性、サイト特性を分離するスペクトルインバージョンを実施し、抽出した震源特性を用いて、適切に要素地震の見積もりが行われていることをご説明。</li> </ul>	113,114 119~121
10	H27 2/13	他機関の知見を引用しているが、中越沖地震について提案されている他のモデルを整理した上で評価に用いているモデルの選定理由について説明すること。	<ul style="list-style-type: none"> <li>中越沖地震に関する震源断層モデルを整理し、代表的な入倉ほか(2008)やKamae and Kawabe(2008)と大きな相違が無いことを確認したうえで、芝(2008)による震源モデルを採用したことをご説明。</li> </ul>	77~85
11	H27 4/24	F-B断層による地震の評価に用いる要素地震について、第3アスペリティの位置での地震の発生状況及び記録の取得状況を整理し、要素地震となりうる記録の有無について示すこと。	<ul style="list-style-type: none"> <li>中越沖地震の第3アスペリティの位置付近で発生した地震について記録の取得状況を整理した結果をご説明。</li> <li>また、第3アスペリティの位置付近で発生した地震を要素地震とした中越沖地震のシミュレーション解析結果、F-B断層による地震の地震動評価結果についてご説明。</li> </ul>	109~118
12	H27 4/24	中越沖地震のシミュレーション解析において、要素地震の補正係数を考慮してもUD方向が過小評価になっている可能性があることについてどう考えるか説明すること。	<ul style="list-style-type: none"> <li>第3アスペリティの位置付近で発生した地震を要素地震とした中越沖地震のシミュレーション解析結果では、UD方向の再現性が改善されること、同様の要素地震を採用したF-B断層による地震の地震動評価結果は基準地震動の包絡スペクトルを概ね下回ることをご説明。</li> </ul>	109~118

# 地震動評価の方針

- 検討用地震の地震動評価は、「応答スペクトルに基づく地震動評価」および「断層モデルを用いた手法による地震動評価」の双方を実施。
- 応答スペクトルに基づく地震動評価は、以下の特徴を踏まえ、Noda et al.(2002)の方法を用いる。
  - 解放基盤表面における水平および鉛直方向の地震動評価が可能であること。
  - 震源の拡がりを考慮できること。
  - 観測記録に基づく補正係数を考慮することにより、震源特性および地震波の伝播特性を的確に反映可能であること。

なお、観測記録に基づく補正係数は、検討用地震と発生様式等が同じ地震の観測記録から推定した解放基盤表面における地震動（以下、「解放基盤波」）とNoda et al.(2002)による応答スペクトルの比を用いて設定。

- 断層モデルを用いた手法による地震動評価は、要素地震として適切な地震の観測記録が敷地において得られていることから、震源特性および地震波の伝播特性を的確に反映することが可能である、経験的グリーン関数法により行う。
- また、地震動評価における不確かさの考慮については、評価結果に与える影響が大きいと考えられる断層パラメータを選定し、その度合いを評価する。

# 不確かさに関する要求事項の整理

- 不確かさに関する、「実用発電用原子炉及びその付属施設の位置、構造及び設備の基準に関する規則」並びにその解釈、さらには、それらに係る審査ガイドにおける要求事項は以下のとおり。

【実用発電用原子炉及びその付属施設の位置、構造及び設備の基準に関する規則の解釈】 別記2

- ⑤上記④の基準地震動の策定過程に伴う各種の不確かさ（震源断層の長さ、地震発生層の上端深さ・下端深さ、断層傾斜角、アスペリティの位置・大きさ、応力降下量、破壊開始点等の不確かさ、並びにそれらに係る考え方及び解釈の違いによる不確かさ）については、**敷地における地震動評価に大きな影響を与えると考えられる支配的なパラメータについて分析した上で、必要に応じて不確かさを組み合わせるなど適切な手法を用いて考慮すること。**

【基準地震動及び耐震設計方針に係る審査ガイド】

## 3.3.3 不確かさの考慮

- (1) 応答スペクトルに基づく地震動の評価過程に伴う不確かさについて、適切な手法を用いて考慮されていることを確認する。地震動評価においては、用いる距離減衰式の特徴や適用性、地盤特性が考慮されている必要がある。
- (2) 断層モデルを用いた手法による地震動の評価過程に伴う不確かさについて、適切な手法を用いて考慮されていることを確認する。併せて、震源特性パラメータの不確かさについて、その設定の考え方が明確にされていることを確認する。

### ① 支配的な震源特性パラメータ等の分析

- 1) 震源モデルの不確かさ（震源断層の長さ、地震発生層の上端深さ・下端深さ、断層傾斜角、アスペリティの位置・大きさ、応力降下量、破壊開始点等の不確かさ、並びにそれらに係る考え方、解釈の違いによる不確かさ）を考慮する場合には、敷地における地震動評価に大きな影響を与えると考えられる支配的なパラメータについて分析し、その結果を地震動評価に反映させることが必要である。特に、アスペリティの位置・応力降下量や破壊開始点の設定等が重要であり、震源モデルの不確かさとして適切に評価されていることを確認する。

### ② 必要に応じた不確かさの組み合わせによる適切な考慮

- 1) 地震動の評価過程に伴う不確かさについては、必要に応じて不確かさを組み合わせるなど適切な手法を用いて考慮されていることを確認する。
- 2) 地震動評価においては、震源特性（震源モデル）、伝播特性（地殻・上部マントル構造）、サイト特性（深部・浅部地下構造）における各種の不確かさが含まれるため、これらの不確かさ要因を**偶然的不確かさと認識論的不確かさに分類して、分析が適切になされていること**を確認する。

# 不確かさを考慮する断層パラメータ

## ■ 不確かさを考慮するパラメータの分類

- 断層長さ及び連動
- 断層傾斜角
- 応力降下量
- 破壊伝播速度
- アスペリティの位置※

認識論的不確実さ（不確かさ）に分類されるもので、事前の詳細な調査や経験式などにに基づき設定できるもの

※アスペリティ位置については、平均変位速度等のデータをもとに、ここでは認識論的不確実さ（不確かさ）として扱う。

- 破壊開始点

偶然的な不確実さ（不確かさ）に分類されるもので、事前の詳細な調査や経験式からは特定が困難なもの

## ■ 不確かさの組み合わせに関する基本的な考え方

- 敷地における地震動評価に大きな影響を与えると考えられる支配的なパラメータについて分析した上で、必要に応じて不確かさを組み合わせて考慮する。

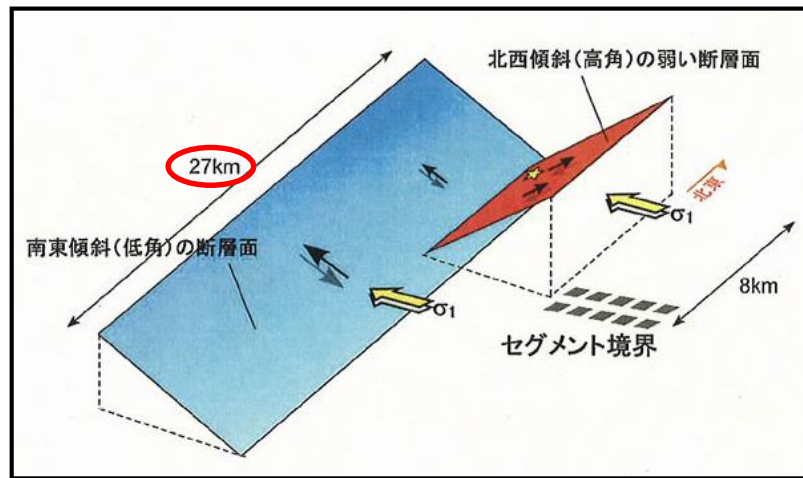
1. 地震発生層の設定
2. 検討用地震の選定
  - 2.1 孤立した短い活断層
  - 2.2 副次的な断層等
  - 2.3 被害地震の選定
  - 2.4 検討用地震の選定
3. F-B断層による地震の地震動評価
  - 3.1 震源モデルの設定と不確かさの考え方
  - 3.2 応答スペクトルに基づく地震動評価
  - 3.3 断層モデルを用いた手法による地震動評価
  - 3.4 評価の妥当性に関する検討
4. 長岡平野西縁断層帯による地震の地震動評価
  - 4.1 震源モデルの設定と不確かさの考え方
  - 4.2 応答スペクトルに基づく地震動評価
  - 4.3 断層モデルを用いた手法による地震動評価
  - 4.4 評価の妥当性に関する検討
5. 基準地震動の策定
6. 佐渡島南方～魚津断層帯による地震の地震動評価

# F-B断層による地震 基本震源モデル

## 中越沖地震とF-B断層との関係

- 地質本部(2008)による中越沖地震の震源断層は、断層長さ27kmの南東傾斜の断層面である。
- F-B断層は、海上音波探査結果に基づき南東傾斜の逆断層と評価しており、断層面は、海域・陸域臨時地震観測網に基づく新潟県中越沖地震の精密余震分布(7月16日10時13分~8月29日)とよく対応している。

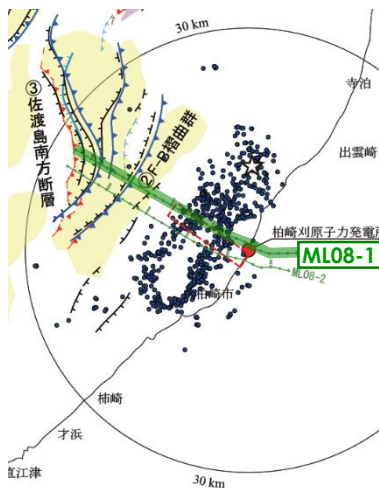
## 地震本部による中越沖地震の震源断層



## 海上音波探査記録 (MLO8-1測線)

地震本部(2008)より抜粋 (一部加筆・修正)

- 凡例
- 東京電力網
  - 逆断層 (Red inverted triangle)
  - 伏在逆断層 (Red inverted triangle with dashed line)
  - 活背斜 (Yellow oval)
  - 活拗曲 (Purple oval)
- 「佐渡島北方海底地質図」(1995)  
 「佐渡島南方海底地質図」(1994)  
 「能登半島東方海底地質図」(2002)
- 逆断層(破線は伏在)  
 正断層(破線は伏在)  
 未区分断層  
 (ケハは落下側、破線は伏在)
- 新編 日本の活断層(1991)
- 活断層(比高200m以上)
  - 活断層(比高200m以下)
  - 推定断層(比高200m以上)
  - 推定断層(比高200m以下)
- 「日本周辺海域の第四紀地質構造図」(2001)
- 逆断層



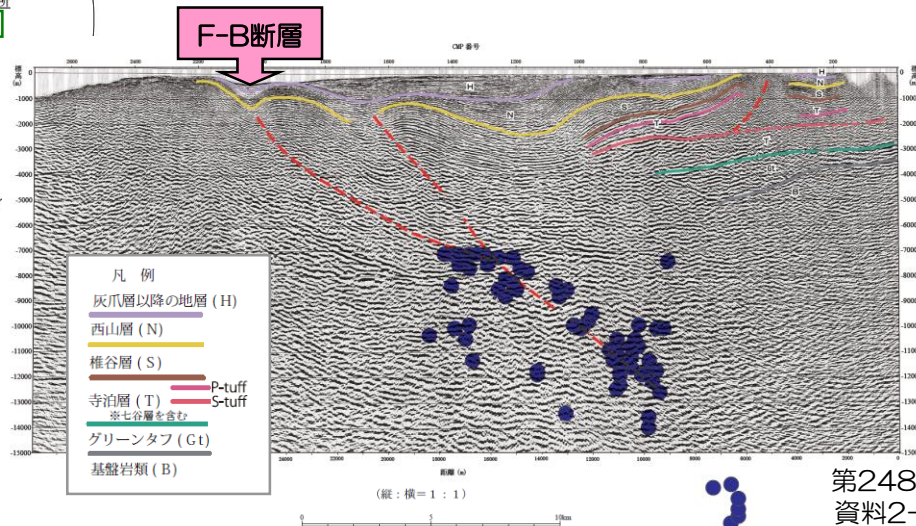
### 新潟県中越沖地震の震央分布

☆ 本震 (M6.8)

● 余震

--- 反射断面上にプロットした範囲

※震央分布は、東京大学地震研究所の資料  
 ([http://www.jishin.go.jp/min/chousa/08jnn\\_chuetsu\\_oki/p02.htm](http://www.jishin.go.jp/min/chousa/08jnn_chuetsu_oki/p02.htm))  
 を東京電力が独自にデジタル化したものである。

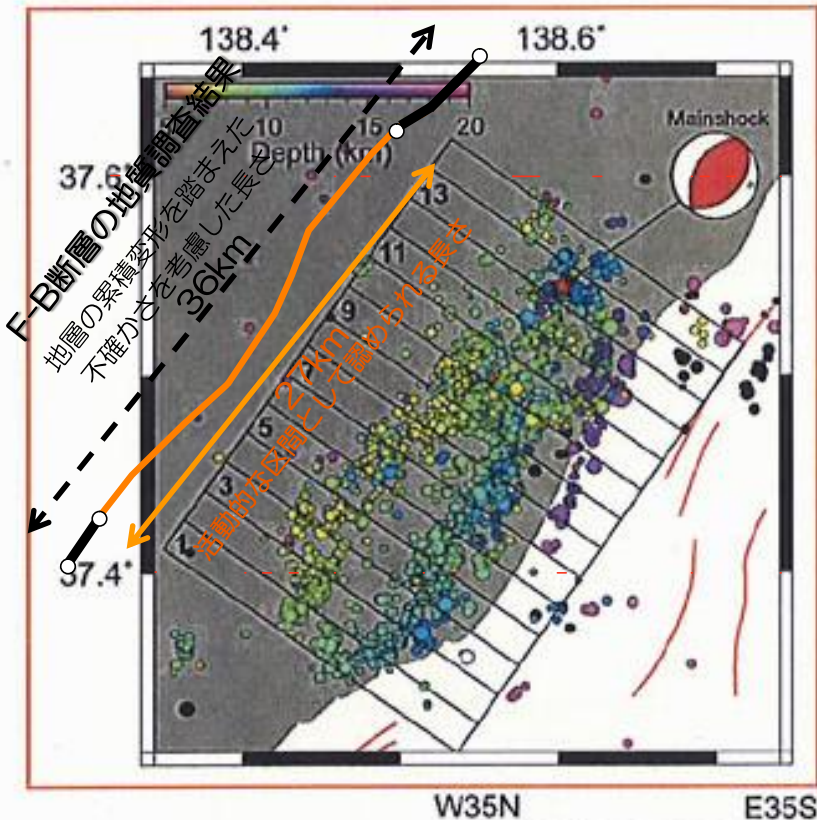


第248回審査会合  
 資料2-3より抜粋  
 (一部加筆・修正)

# F-B断層による地震 基本震源モデルと不確かさの考え方

## 中越沖地震の余震分布とF-B断層の地質調査結果との関係

- 海域・陸域臨時地震観測に基づく精密余震分布（7月16日10時13分～8月29日）と、地質調査結果において、F-B断層の活動的な区間として認められたM-8測線からM-19測線までの約27kmは、よく対応している。



地震本部(2008)より抜粋（一部加筆・修正）

## 基本震源モデルと不確かさの考え方

- F-B断層は、中越沖地震の震源断層と考えられ、その際に活動した断層長さは27kmであったと考えられる。これは、地質調査結果において活動的な区間として認められた長さと良く対応している。
- 地震動評価においては、敷地に大きな影響を与えた地震である中越沖地震に相当するF-B断層を27kmとしたケースを基本震源モデルとして設定することも考えられるが、地質調査結果において、安全評価上、断層長さ36kmと評価していることから、ここでは、断層長さ36kmの条件のもと強震動予測レシピに従い設定したモデル（以下、「強震動予測レシピモデル」）を基本震源モデルと考える。
- 地震動評価において考慮する不確かさについては、中越沖地震の知見等を踏まえて考慮するとともに、中越沖地震の震源インバージョン結果を踏まえて設定した震源モデル（以下、「中越沖地震拡張モデル」）による検討も実施する。

# 不確かさを考慮する断層パラメータの設定根拠

## F-B断層による地震

モデル	パラメータ	基本ケース	不確かさの考え方
強震動予測レシピモデル	①断層長さ及び連動	地質調査結果における地層の累積変形が認められる範囲である長さ36kmとして設定。	地質調査結果等から、さらに長さを延長あるいは連動を考慮する必要性はないものと考えられる。
	②アスペリティの位置	強震動予測レシピを参考に、断層中央に均等配置。	断層中央に集約して配置。
	③破壊伝播速度	強震動予測レシピに基づきGeller(1976)より設定(0.72×Vs(3.4km/s)より2.4km/s)。	中越沖地震の震源インバージョン結果によると一部のアスペリティで最大3.1km/sの破壊伝播速度が求められていることから、一部のアスペリティに3.1km/sを設定。
	④応力降下量	強震動予測レシピに基づき設定(15.6MPa)	中越沖地震の知見を反映し、強震動予測レシピに基づく値の1.5倍(23.4MPa)を南西側・北西側両方のアスペリティに設定。
	⑤断層傾斜角	強震動予測レシピにおいて、逆断層において一般的に想定される45°と設定。	地震本部(2008)による中越沖地震の余震分布に基づき35°と設定
中越沖地震拡張モデル	—	—	①：中越沖地震のアスペリティモデル（断層長さ27km）を断層長さ36kmに拡張 ②：アスペリティ位置は、敷地に近い位置に設定 ③：中越沖地震の震源インバージョン結果に基づき2.5～3.1km/sと設定。 ④：中越沖地震の震源インバージョン結果に基づき強震動予測レシピによる値の1.5倍に相当する20～25MPaと設定。 ⑤：地震本部(2008)による中越沖地震の余震分布に基づき35°と設定。



# F-B断層による地震 ③破壊伝播速度の不確かさについて

## 2004中越地震, 2007年中越沖地震の破壊伝播速度

### 2004年中越地震

■ 破壊伝播速度は、震源のS波速度( $V_s$ )に対して平均で0.66倍程度であり、一般的な値である。

	文献	手法	モデル	検討に用いた観測点数	a.破壊伝播速度(km/s)	b.震源S波速度(km/s)	比 a/b
①	Kamae et al.(2005)	経験的G関数法	特性化モデル	5	2	3.5	0.57
②	神原ほか(2006)	経験的G関数法	特性化モデル	19	2.45	3.4	0.72
③	佐藤ほか(2007)	経験的G関数法	特性化モデル	7	2.43	3.47	0.70
④	坂井・野津(2011)	経験的サイト増幅・位相特性を考慮した統計的G関数法	特性化モデル	16	2.8	3.5	0.80
⑤	青井ほか(2005)	波形イバ-ゾ法	すべり分布	7	2	3.4*	0.59
⑥	Honda et al.(2005)	波形イバ-ゾ法	すべり分布	10	2.2	3.28	0.67
⑦	野津(2005)	波形イバ-ゾ法	すべり分布	13	2.5	3.5	0.71
⑧	Hikima and Koketsu(2005)	波形イバ-ゾ法	すべり分布	11	-	-	-
⑨	芝(2006)	経験的G関数法を用いた震源イバ-ゾ法	地震E-ポテンシャル密度分布	9	-	-	-
⑩	Asano and Iwata(2009)	波形イバ-ゾ法	すべり分布	21	1.9	3.46	0.55

※文献中に記載がないため仮定

### 2007年中越沖地震

■ 破壊伝播速度は、震源のS波速度( $V_s$ )に対し、 $\Delta$ 断層リテ部については平均約0.8倍とやや大きいものの、断層面全体では平均約0.7倍であり、Geller(1976)の $V_r=0.72V_s$ とほぼ整合する値である。

	文献	手法	モデル	傾斜	検討に用いた観測点数	a.破壊伝播速度(km/s)	b.震源S波速度(km/s)	比 a/b
①	入倉ほか(2008)	経験的G関数法	特性化モデル	南東	6(3)	2.7	3.4	0.79
②	Kamae and Kawabe(2008)	経験的G関数法	特性化モデル	南東	22(12)	2.7	3.5	0.77
③	芝(2008)	全体	経験的G関数法を用いた震源イバ-ゾ法	南東	18(2)	2.3	3.4	0.68
		Asp	特性化モデル		8(8)	3.1,2.8,2.5	3.4	0.91,0.82,0.74
④	山本・竹中(2009)	経験的G関数法	特性化モデル	南東+北西	10(2)	2.7,2.8,2.8	3.4	0.79,0.82,0.82
⑤	野津(2010)	経験的サイト増幅・位相特性を考慮した強震波形計算手法	特性化モデル	南東	10(8)	3	3.5	0.86
⑥	Aoi et al.(2008)	波形イバ-ゾ法	すべり分布	南東	14	2.1	3.4	0.62
⑦	引間・瀬藤(2008)	ゾイットイバ-ゾ法	すべり分布	南東	近地11(2) 遠地29 測地41	-	-	-
⑧	Honda and Aoi(2009)	アルパックパズル法	すべり分布	南東	12(10)	2.45	3.4	0.72
⑨	Nakamura et al.(2009)	波形イバ-ゾ法	すべり分布	南東+北西	約50	-	-	-
⑩	Miyake et al.(2010)	波形イバ-ゾ法	すべり分布	南東	34	2.6	3.4	0.76

( ) 内は敷地内の観測点数

# F-B断層による地震 ③破壊伝播速度の不確かさについて

## 破壊伝播速度の不確かさの考え方

■ 破壊伝播速度に関する2004年中越地震，2007年中越沖地震の知見としては以下のとおり。

### 【2004年中越地震】

- 破壊伝播速度としては，一般的な値である。

### 【2007年中越沖地震】

- 双パリティ部については最大で3.1km/sとやや大きいものの，断層面全体としては一般的な値である。



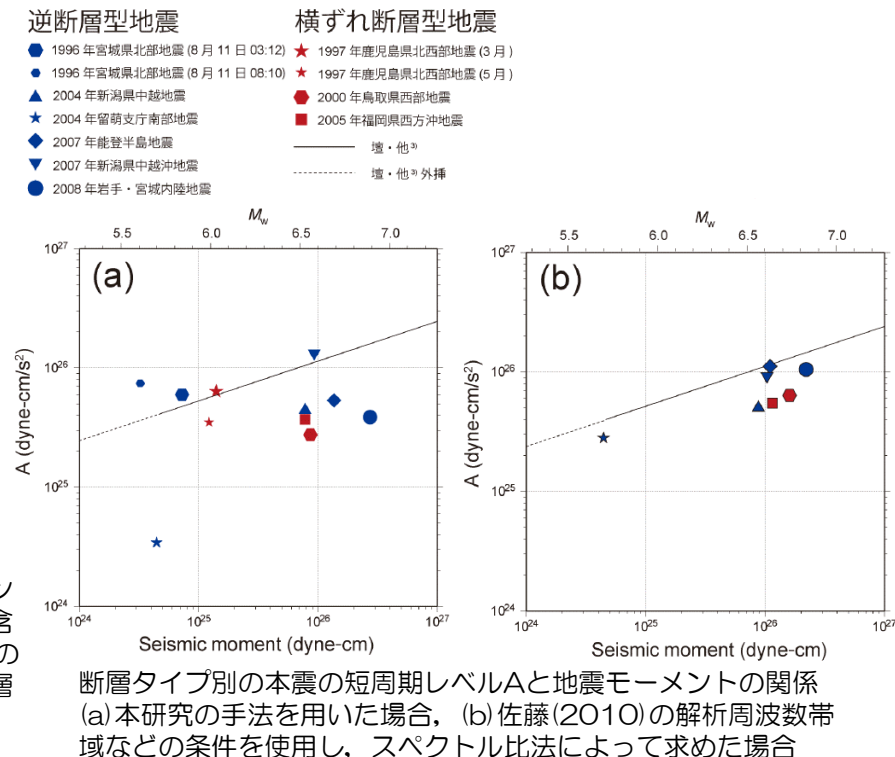
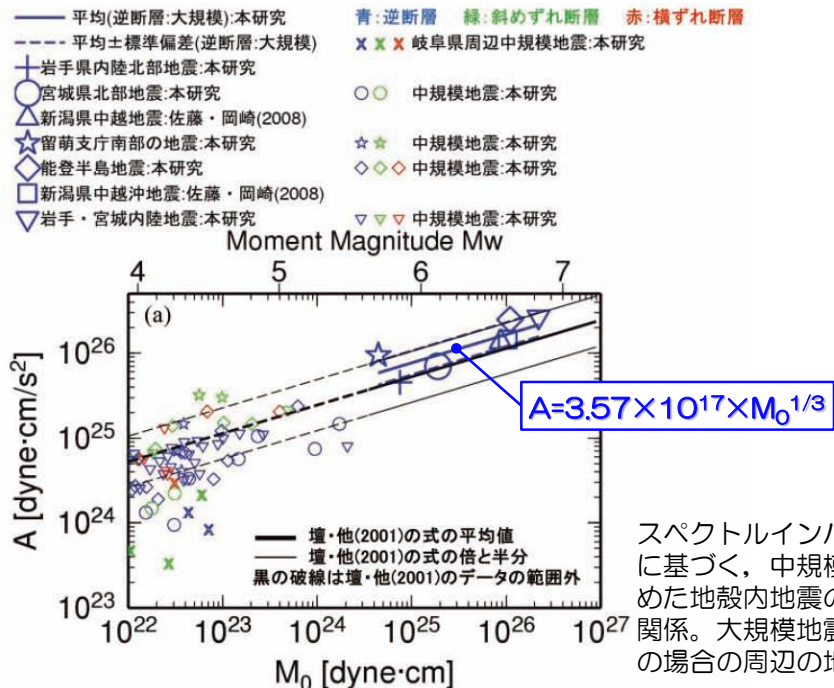
- 破壊伝播速度に関する断層パラメータの設定においては，強震動予測レシピを参考にGeller(1976)をもとに設定。
- ただし，2007年中越沖地震の知見を踏まえ，破壊伝播速度の不確かさを考慮することとする。

# F-B断層による地震

## ④応力降下量の不確かさについて

- 佐藤(2010)では、日本の大規模地殻内地震の震源近傍の強震記録を用いて、同一条件下でスペクトルインバージョンを実施し、逆断層と横ずれ断層の違いを考慮した地震モーメント $M_0$ と短周期レベルAのスケーリング則を導出。
- 得られた経験式に基づくAは、逆断層では壇ほか(2001)の内陸地殻内地震に対する式( $A(\text{dyne}\cdot\text{cm}/\text{s}^2)=2.46\times 10^{17}\times M_0(\text{dyne}\cdot\text{cm})^{1/3}$ )の1.45倍と評価している。

- 一方、染井ほか(2010)では、地殻内地震の震源スケーリング及び応力降下量を推定し、ひずみ集中帯内外の地震の震源特性(応力降下量)の相違点を調べている。
- この中で、佐藤(2010)が指摘する横ずれ断層と逆断層との違いは明瞭ではなく、解析手法の違いによるモデルパラメータの推定値の違いについて、比較検討が必要であると指摘している。



佐藤(2010)より抜粋(一部加筆・修正)

染井ほか(2010)より抜粋(一部加筆・修正)

# F-B断層による地震

## ④応力降下量の不確かさについて

■ 構造計画研究所(2010)では、過去の内陸地殻内地震の特性化震源モデルから換算した短周期レベルを断層タイプ別に整理し、以下のとおり評価している。

### 断層タイプ(横ずれ, 縦ずれ)別の短周期レベル

・断層タイプ別の短周期レベルについては以下の回帰式が得られた。

$$A(\text{dyne}\cdot\text{cm}/\text{s}^2) = 2.71 \times 10^{17} \times M_0(\text{dyne}\cdot\text{cm})^{1/3} \quad \text{横ずれ}$$

$$A(\text{dyne}\cdot\text{cm}/\text{s}^2) = 2.77 \times 10^{17} \times M_0(\text{dyne}\cdot\text{cm})^{1/3} \quad \text{縦ずれ}$$

・断層タイプ別の短周期レベルには明確な違いは見られなかったが、逆断層の短周期レベルが若干大きい。この傾向は佐藤(2010)による結果と調和的であるが、数値的には大きく異なるので、今後の検討課題になる。

### 地域別の短周期レベル

・地域別の短周期レベルについては、今回のデータセットでは次のような傾向がみられた。

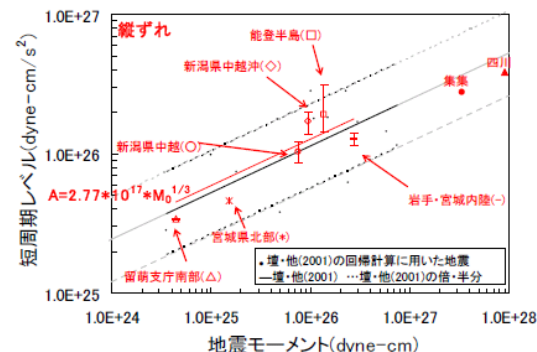
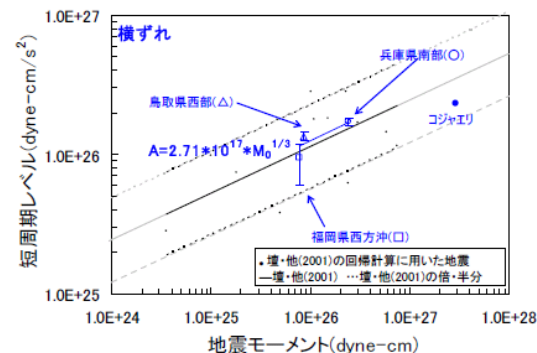
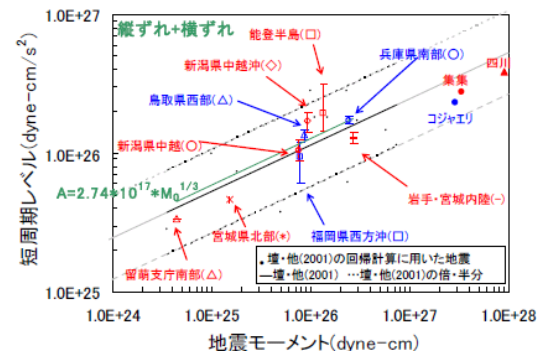
3) 北陸地方(新潟県中越地震, 能登半島地震, 新潟県中越沖地震)は平均的な短周期レベルと同程度か若干高い。

・但し、データ数が少ないため、今後データ数を増やして検討を行う必要がある。

回帰分析結果(地震モーメントと短周期レベルの関係)

		回帰分析結果 $A[\text{dyne}\cdot\text{cm}/\text{s}^2]$ $M_0[\text{dyne}\cdot\text{cm}]$	壇・他(2001) に対する比	図番号
全地震		$A = 2.74 \times 10^{17} \times (M_0)^{1/3}$	1.12	図 3-2上段
断層タイプ	横ずれ	$A = 2.71 \times 10^{17} \times (M_0)^{1/3}$	1.10	図 3-2中段
	縦ずれ	$A = 2.77 \times 10^{17} \times (M_0)^{1/3}$	1.13	図 3-2下段
地域性	北海道	$A = 2.06 \times 10^{17} \times (M_0)^{1/3}$	0.84	
	東北	$A = 1.96 \times 10^{17} \times (M_0)^{1/3}$	0.80	
	北陸	$A = 3.40 \times 10^{17} \times (M_0)^{1/3}$	1.38	
	近畿	$A = 2.76 \times 10^{17} \times (M_0)^{1/3}$	1.12	
	中国	$A = 3.06 \times 10^{17} \times (M_0)^{1/3}$	1.24	
	九州	$A = 2.22 \times 10^{17} \times (M_0)^{1/3}$	0.90	
(参考)	壇・他(2001)	$A = 2.46 \times 10^{17} \times (M_0)^{1/3}$		

■ 今後もデータ数を増やして検討を行う必要性など課題はあるものの、これまでに得られている知見を整理すると、応力降下量の不確かさとして強震動予測レシピの1.5倍までを考慮することは妥当であると考えられる。



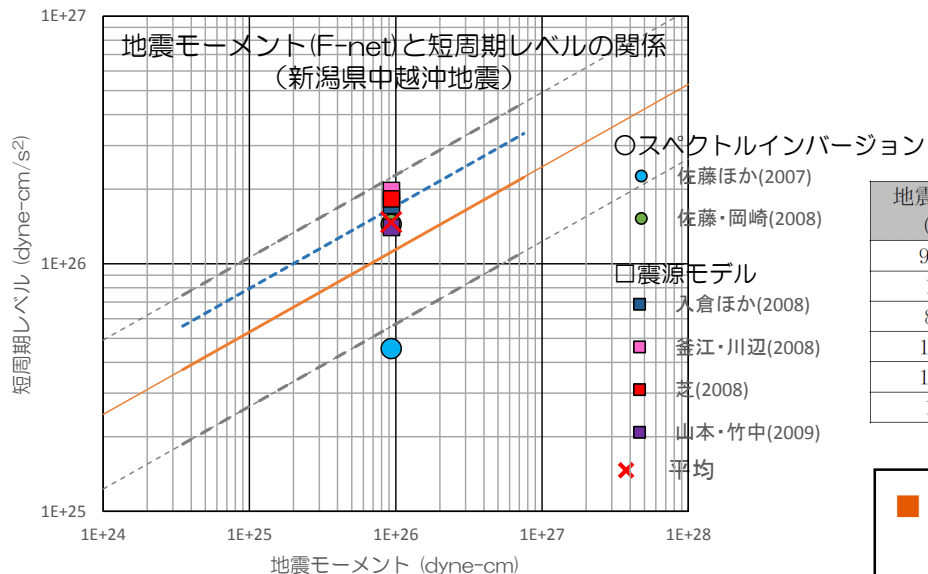
地震モーメントと短周期レベルの関係  
構造計画研究所(2010)より抜粋  
(一部加筆・修正)

■ 構造計画研究所(2010)では、2000年以降に発生した国内の内陸地殻内地震に関するスペクトルインバージョンの結果及びフォワードモデリングで得られた特性化震源モデル等を収集し、2007年新潟県中越沖地震について、以下のとおり評価している。

- ・ 壇ほか(2001)から期待される短周期レベルと比較すると、スペクトルインバージョンで得られた短周期レベルは大きな差がある。
- ・ 震源モデルから算定された短周期レベルは、壇ほか(2001)から期待される短周期レベルよりもやや大きめではあるが、倍・半分の中に入っている。

短周期レベル (新潟県中越沖地震)

手法	短周期レベル (dyne-cm/s <sup>2</sup> )	文献名
スペクトル インバージョン	$4.53 \times 10^{25}$	佐藤・他(2007)
	$1.44 \times 10^{26}$	佐藤・岡崎(2008)
震源 モデル	$1.72 \times 10^{26}$	入倉・他(2008)
	$1.98 \times 10^{26}$	釜江・川辺(2008)
	$1.83 \times 10^{26}$	芝(2008)
	$1.40 \times 10^{26}$	山本・竹中(2009)



地震モーメント (新潟県中越沖地震)

地震モーメント (dyne-cm)	文献名	壇・他(2001)の式による短周期レベル (dyne-cm/s <sup>2</sup> )
$9.30 \times 10^{25}$	F-net	$1.11 \times 10^{26}$
$1.3 \times 10^{26}$	山中(2007b) (南東傾斜) <地震学ノート>	$1.25 \times 10^{26}$
$8.6 \times 10^{25}$	八木(2007b) (南傾斜)	$1.09 \times 10^{26}$
$1.62 \times 10^{26}$	青井・他(2007) (南東傾斜) <防災科研HP>	$1.34 \times 10^{26}$
$1.04 \times 10^{26}$	芝(2008)	$1.16 \times 10^{26}$
$1.2 \times 10^{26}$	Miyake et al. (2010) (南東傾斜)	$1.21 \times 10^{26}$

■ 短周期レベルの評価手法によりばらつきは認められるものの、その平均は壇ほか(2001)の1.3倍程度であり、不確かさの考慮として、1.5倍を見込むことは妥当であると考えられる。

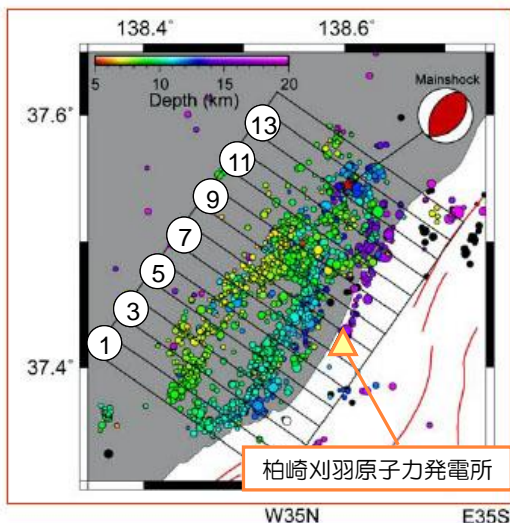
■ なお、短周期レベルの1.5倍は、地震モーメント $M_0$ とアスペリティの面積が平均的な関係にある場合、アスペリティの応力降下量1.5倍に相当。

構造計画研究所(2010)をもとに描画  
(一部加筆・修正)

# F-B断層による地震

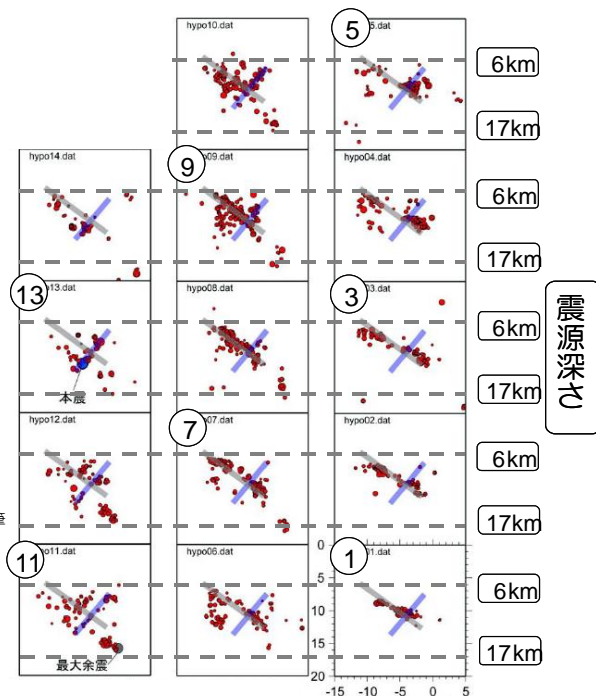
## ⑤断層傾斜角の不確かさと中越沖地震拡張モデルについて

- 逆断層において一般的に想定される傾斜角は $45^\circ$ 。
- 中越沖地震の余震分布に基づき、震源インバージョンで設定された断層傾斜角は $35^\circ$ 。



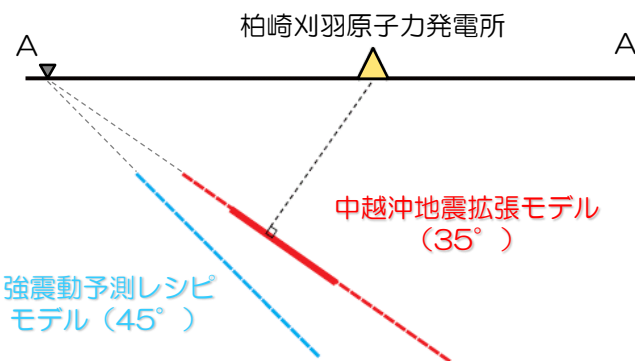
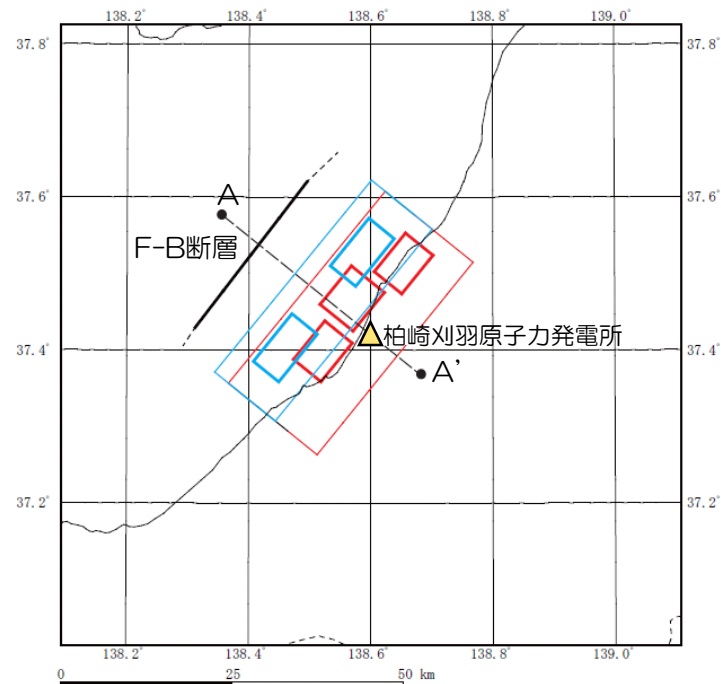
東京大学地震研究所資料（平成20年1月11日地震調査委員会）に加筆

地震本部(2008)より抜粋  
(一部加筆・修正)



- 傾斜角 $35^\circ$  ※の場合、中越沖地震を反映して設定したアスペリティ位置は、敷地に最も近い位置となっている。

※芝(2008)において地震本部(2007, 2008)により公開された本震と余震の震源分布を参考に設定された値。



# F-B断層による地震 震源モデルの設定

■ 強震動予測レシピモデルは、地質調査結果における断層長さの不確かさ36kmを条件として、強震動予測レシピに基づき設定。

- 断層の傾斜角は、先見情報からは一般的な45°の設定となると考えられ、不確かさとして、中越沖地震の余震分布に基づき、35°と設定。
- 地震発生層は、速度構造や微小地震分布等に基づき、上端深さを6km、下端深さを17kmと設定。
- 断層幅は、地震発生層を飽和するように、傾斜角と地震発生層厚さに基づき設定。
- 77°リフトの位置は、断層中央均等配置を基本とし、中央に集約したケースを不確かさとして設定。
- 破壊伝播速度は、震源のS波速度( $V_s$ )の0.72倍を基本とし、中越沖地震の知見を踏まえ、一部の77°リフトを3.1km/sとしたケースを考慮。
- 応力降下量は、強震動予測レシピの値を基本とし、中越沖地震の知見を踏まえた1.5倍の値を考慮。

■ 中越沖地震拡張モデルは、中越沖地震の震源インバージョン結果等を参考に設定した中越沖地震アスペリティモデル（断層長さ27km，M6.8）を断層長さ36km(M7.0)に拡張することにより設定。

No.	検討ケース	断層長さ	断層傾斜角	破壊開始点	77°リフト位置	破壊伝播速度	応力降下量	【参考】短周期パル
1	強震動予測レシピモデル	36km	45°	複数	2個 中央均等配置	0.72 $V_s$	15.6MPa (強震動予測レシピ)	$1.5 \times 10^{19} \text{N} \cdot \text{m/s}^2$
2	強震動予測レシピモデル (77°リフト位置の不確かさ)	36km	45°	複数	1個 中央集約配置	0.72 $V_s$	15.6MPa (強震動予測レシピ)	$1.5 \times 10^{19} \text{N} \cdot \text{m/s}^2$
3	強震動予測レシピモデル (破壊伝播速度の不確かさ)	36km	45°	複数	2個 中央均等配置	3.1km/s	15.6MPa (強震動予測レシピ)	$1.5 \times 10^{19} \text{N} \cdot \text{m/s}^2$
4	強震動予測レシピモデル (応力降下量の不確かさ)	36km	45°	複数	2個 中央均等配置	0.72 $V_s$	23.4MPa (強震動予測レシピ ×1.5倍)	$2.2 \times 10^{19} \text{N} \cdot \text{m/s}^2$
5	強震動予測レシピモデル (断層傾斜角の不確かさ)	36km	35°	複数	2個 中央均等配置	0.72 $V_s$	15.0MPa (強震動予測レシピ)	$1.7 \times 10^{19} \text{N} \cdot \text{m/s}^2$
6	中越沖地震拡張モデル	36km	35°	中越沖反映	敷地至近	2.5~ 3.1km/s	20~25MPa (強震動予測レシピ ×1.5倍相当)	$2.3 \times 10^{19} \text{N} \cdot \text{m/s}^2$

■ : 不確かさを考慮するパラメータ

■ : 2007年新潟県中越沖地震により得られた情報を重視。強震動予測レシピによる一般的な設定に対して既に安全側となっているパラメータ

- a. 強震動予測レシピモデル
- b. 中越沖地震拡張モデル

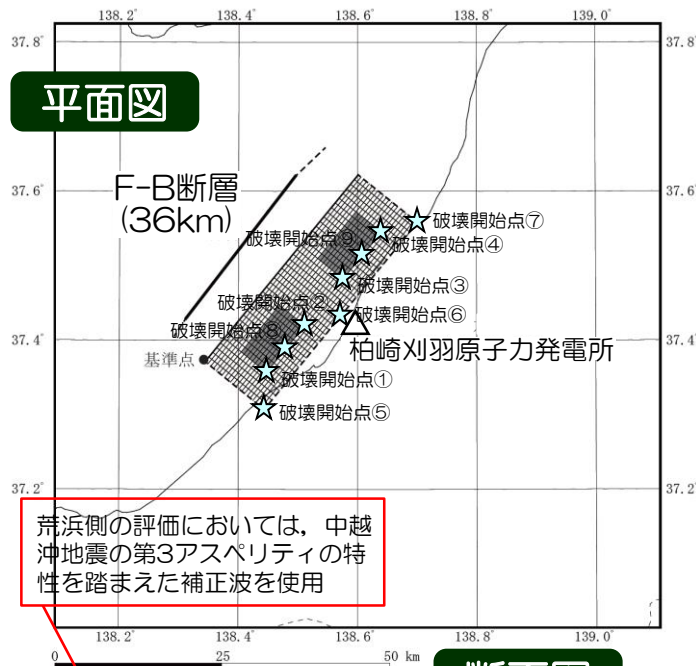


# 震源モデルの設定

## F-B断層による地震 強震動予測レシピモデル (No.1,3,4)

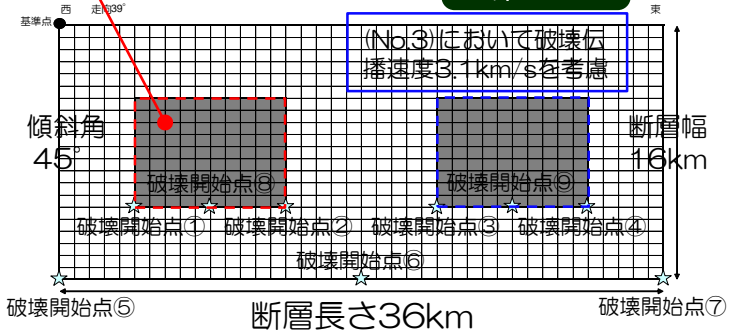
強震動予測レシピモデル(No.1),  
破壊伝播速度(No.3), 応力降下量  
(No.4)の不確かさ考慮

平面図



荒浜側の評価においては、中越沖地震の第3アスペリティの特性を踏まえた補正波を使用

断面図



※破壊開始点⑤～⑨についてはNo.3で影響を確認した上で以降の評価では省略

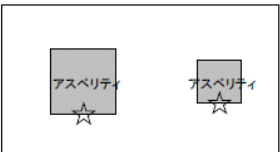
項目		設定値
基準点	東経(°)	138.34
	北緯(°)	37.37
断層上端深さ(km)		6
断層長さ(km)		36.0
断層幅(km)		16.0
断層面積(km <sup>2</sup> )		576
走向(°)		39
傾斜角(°)		45
S波速度(km/s)		3.4
破壊伝播速度(km/s)	0.72Vs	2.4
	不確かさ	3.1
地震E-λ(N・m)		1.9×10 <sup>19</sup>
アスペリティ1	面積(km <sup>2</sup> )	60
	地震E-λ(N・m)	3.9×10 <sup>18</sup>
平均すべり量(cm)		205
応力降下量(MPa)	レシピ	15.6
	1.5倍	23.4
アスペリティ2	面積(km <sup>2</sup> )	60
	地震E-λ(N・m)	3.9×10 <sup>18</sup>
平均すべり量(cm)		205
応力降下量(MPa)	レシピ	15.6
	1.5倍	23.4
背景領域	面積(km <sup>2</sup> )	456
	地震E-λ(N・m)	1.1×10 <sup>19</sup>
平均すべり量(cm)		76
実効応力(MPa)	レシピ	2.8
	1.5倍	4.2

- : 地質調査結果等に基づく
- : 強震動予測レシピに基づく
- : 中越沖地震の知見を反映し、一部のアスペリティに3.1km/sを考慮 (No.3で考慮)
- : 中越沖地震の知見を反映し、設定した応力降下量の1.5倍を考慮 (No.4で考慮)

■ 破壊開始点は、強震動予測レシピにおける記載等を踏まえ複数設定し、No.1において影響を確認したうえで、以降の評価ではアスペリティ下端の両端で代表させる。



破壊開始点については、平均的な地震動を推定することを目的とする場合で、活断層の形状等から破壊開始点を特定できない場合には、やや簡便化したパラメータ設定として、縦ずれ成分が卓越する場合には、アスペリティ中央下端を基本ケースとする。



縦ずれ成分が卓越  
破壊開始点 (☆) とアスペリティ位置の一例  
地震本部(2009)より抜粋

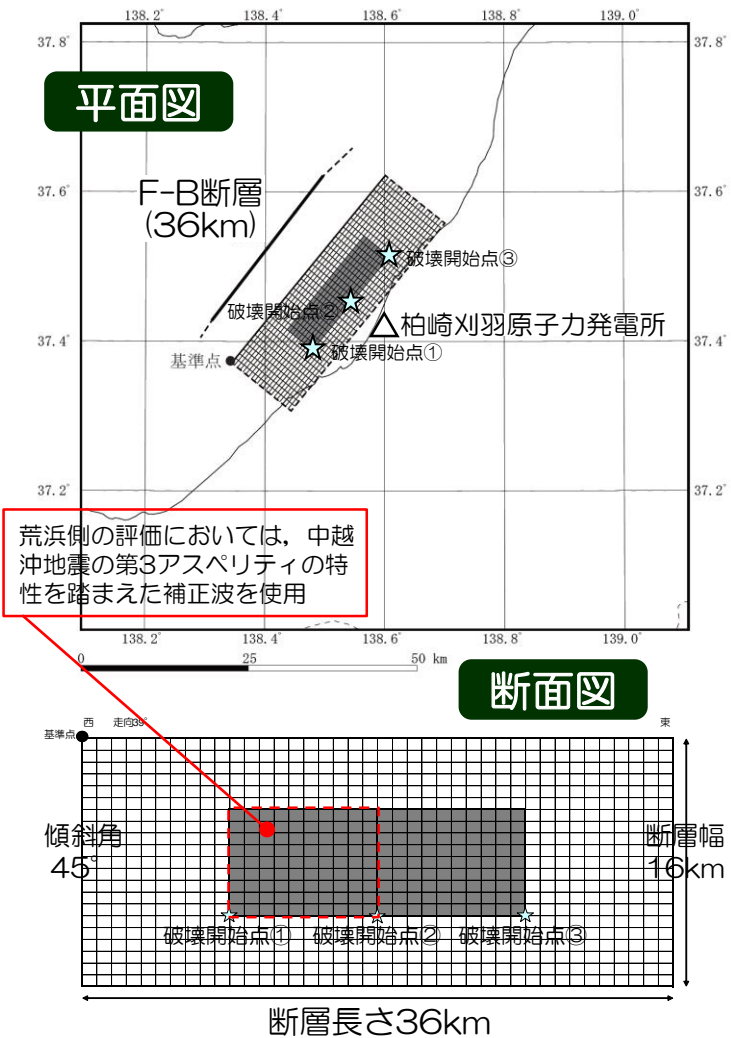
■ 破壊伝播速度の不確かさについては、中越沖地震の震源インバージョン結果を参考に、ここでは北部のアスペリティに3.1km/sを仮定。

■ 応力降下量の不確かさについては、強震動予測レシピから求められる値の1.5倍とし、中越沖地震アスペリティの面積による加重平均22MPaに相当する値となっていることを確認。

# 震源モデルの設定

## F-B断層による地震 強震動予測レシピモデル (No.2)

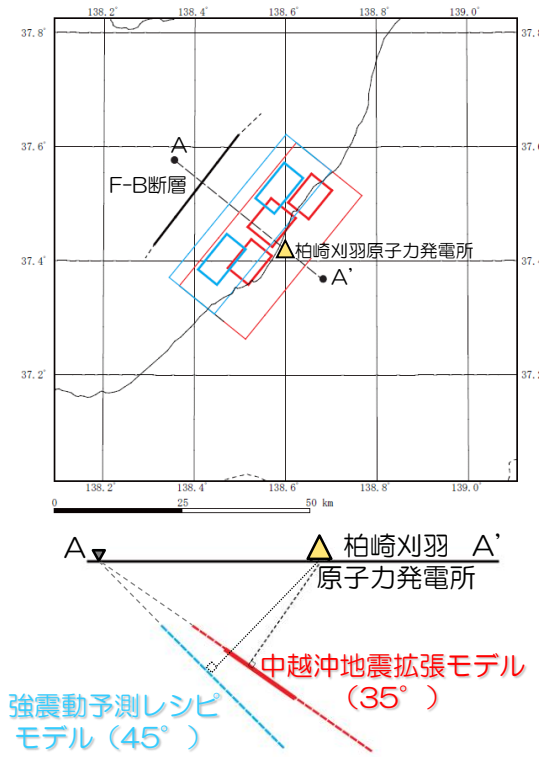
### アスペリティ位置の不確かさ考慮(No.2)



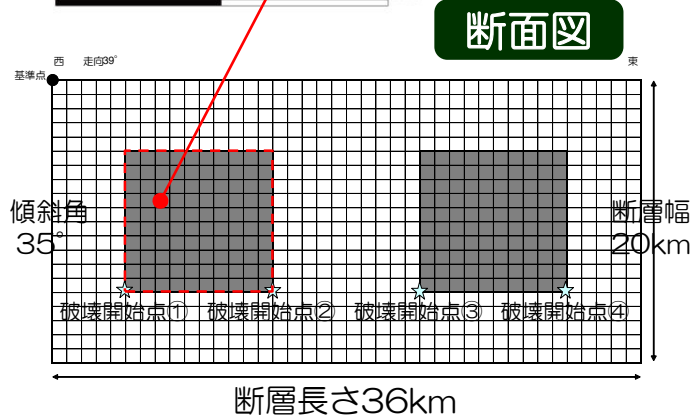
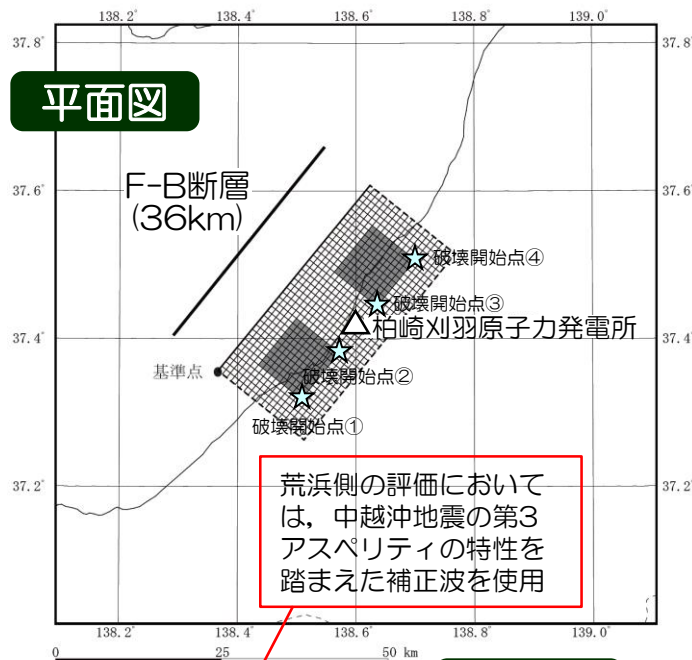
項目		設定値
基準点	東経(°)	138.34
	北緯(°)	37.37
巨視的断層面	断層上端深さ(km)	6
	断層長さ(km)	36.0
	断層幅(km)	16.0
	断層面積(km <sup>2</sup> )	576
	走向(°)	39
	傾斜角(°)	45
	S波速度(km/s)	3.4
アスペリティ1	破壊伝播速度(km/s)	2.4
	地震モーメント(N·m)	1.9×10 <sup>19</sup>
	面積(km <sup>2</sup> )	60
	地震モーメント(N·m)	3.9×10 <sup>18</sup>
アスペリティ2	平均すべり量(cm)	205
	応力降下量(MPa)	15.6
	面積(km <sup>2</sup> )	60
	地震モーメント(N·m)	3.9×10 <sup>18</sup>
背景領域	平均すべり量(cm)	205
	応力降下量(MPa)	15.6
	面積(km <sup>2</sup> )	456
	地震モーメント(N·m)	1.1×10 <sup>19</sup>
実効応力(MPa)		2.8

□ : 地質調査結果等に基づく  
 □ : 強震動予測レシピに基づく

- 敷地からの距離が短くなる巨視的断層面への垂線は、断層幅方向において概ね中央となる。したがって、断層幅方向におけるアスペリティ位置は、敷地に最も近い位置となる中央と設定。
- 断層長さ方向においては、中越沖地震の際の知見を念頭に敷地の南西側、北西側の2つを基本とし、不確かさとして中央に集約したケースを設定。



### 断層傾斜角の不確かさ考慮(No.5)



項目		設定値	
巨視的断層面	基準点	東経(°)	138.37
		北緯(°)	37.36
	断層上端深さ(km)	6	
	断層長さ(km)	36.0	
	断層幅(km)	20.0	
	断層面積(km <sup>2</sup> )	720	
	走向(°)	39	
	傾斜角(°)	35	
	S波速度(km/s)	3.4	
	破壊伝播速度(km/s)	2.4	
アスペリティ1	地震E-μt(N·m)	2.9×10 <sup>19</sup>	
	面積(km <sup>2</sup> )	87	
	地震E-μt(N·m)	7.0×10 <sup>18</sup>	
	平均すべり量(cm)	257	
アスペリティ2	応力降下量(MPa)	15.0	
	面積(km <sup>2</sup> )	87	
	地震E-μt(N·m)	7.0×10 <sup>18</sup>	
背景領域	平均すべり量(cm)	257	
	応力降下量(MPa)	15.0	
	面積(km <sup>2</sup> )	546	
	地震E-μt(N·m)	1.5×10 <sup>19</sup>	
実効応力(MPa)		2.4	

■ : 地質調査結果等に基づく  
 ■ : 強震動予測レシピに基づく

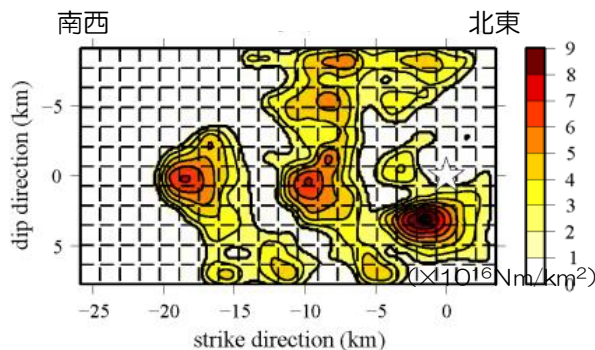
- a. 強震動予測レシピモデル
- b. 中越沖地震拡張モデル

# 震源モデルの設定

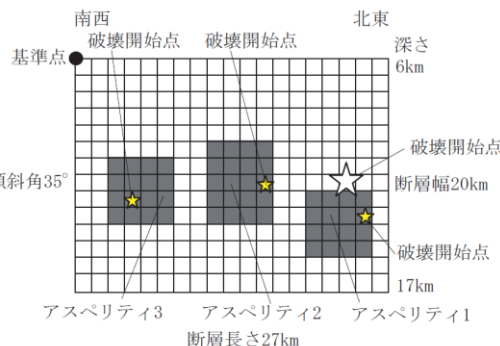
## F-B断層による地震

## 中越沖地震拡張モデルの設定の考え方

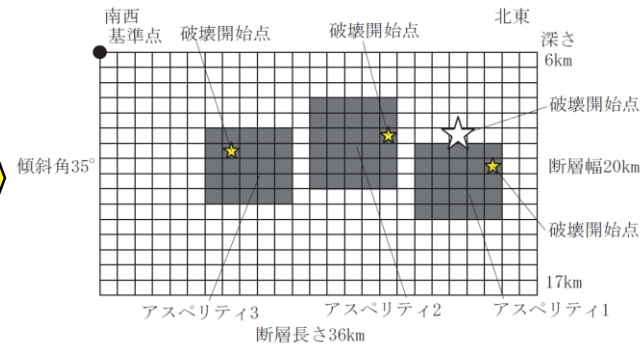
中越沖地震  
震源インバージョン結果(M6.8)



①中越沖地震  
アスペリティモデル(M6.8)

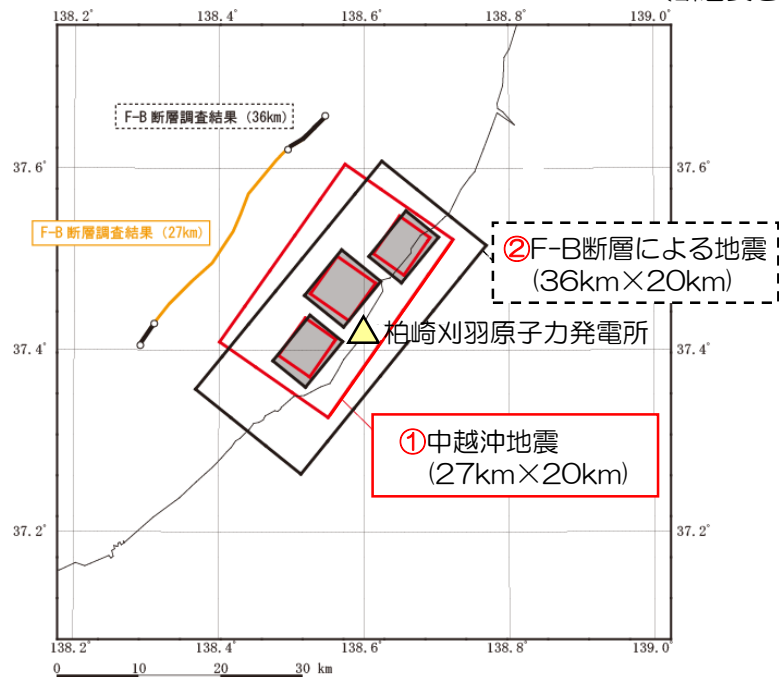


②F-B断層による地震の  
断層モデル(M7.0)

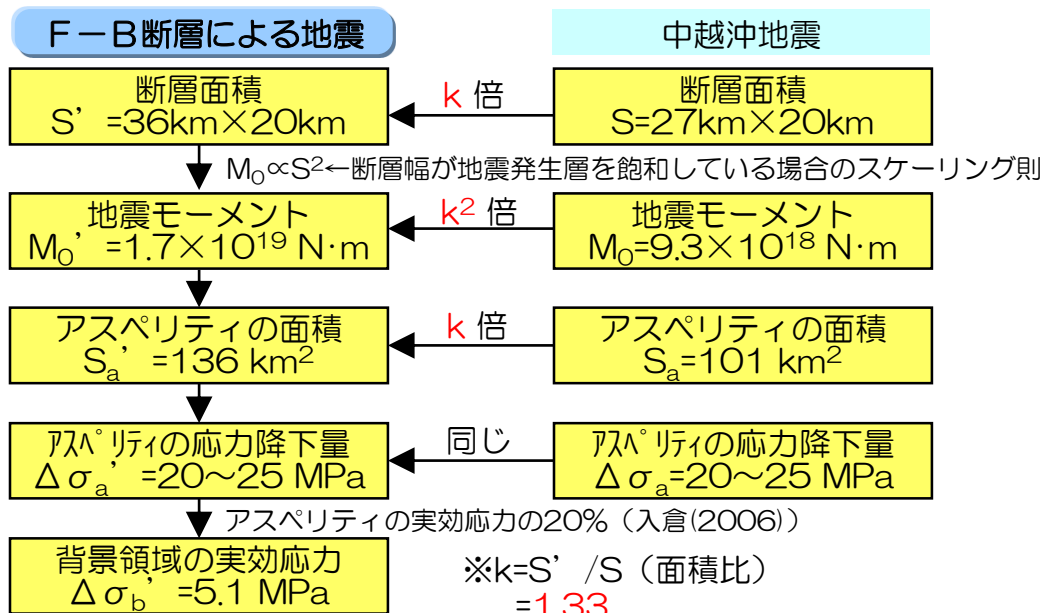


中越沖地震の震源インバージョン結果等を参考に、アスペリティモデルを構築。  
(断層長さ27km×断層幅20km)

中越沖地震のアスペリティモデルを基本震源モデルとし、断層長さの不確かさを考慮して36km(M7.0)に拡張し、F-B断層の断層モデルを設定。



### 断層パラメータの設定手順



# 2007年新潟県中越沖地震（震源モデル）

■ 中越沖地震に関して提案されている主な震源モデルを整理。

	文献	手法	モデル	傾斜	検討に用いた観測点数	a.破壊伝播速度(km/s)	b.震源S波速度(km/s)	比 a/b
①	入倉ほか(2008)	経験的G関数法	特性化モデル	南東	6(3)	2.7	3.4	0.79
②	Kamae and Kawabe(2008)	経験的G関数法	特性化モデル	南東	22(12)	2.7	3.5	0.77
③	芝(2008)	全体	地震 $\tau$ - $\rho$ 密度分布 特性化モデル	南東	18(2) 8(8)	2.3	3.4	0.68
		Asp				3.1,2.8,2.5	3.4	0.91,0.82,0.74
④	山本・竹中(2009)	経験的G関数法	特性化モデル	南東+北西	10(2)	2.7,2.8,2.8	3.4	0.79,0.82,0.82
⑤	野津(2010)	経験的サイト増幅・位相特性を考慮した強震波形計算手法	特性化モデル	南東	10(8)	3	3.5	0.86
⑥	Aoi et al.(2008)	波形インバージョン法	すべり分布	南東	14	2.1	3.4	0.62
⑦	引間・瀬戸(2008)	ジオイントインバージョン法	すべり分布	南東	近地11(2) 遠地29 測地41	-	-	-
⑧	Honda and Aoi(2009)	リアルタイム逆解析法	すべり分布	南東	12(10)	2.45	3.4	0.72
⑨	Nakamura et al.(2009)	波形インバージョン法	すべり分布	南東+北西	約50	-	-	-
⑩	Miyake et al.(2010)	波形インバージョン法	すべり分布	南東	34	2.6	3.4	0.76

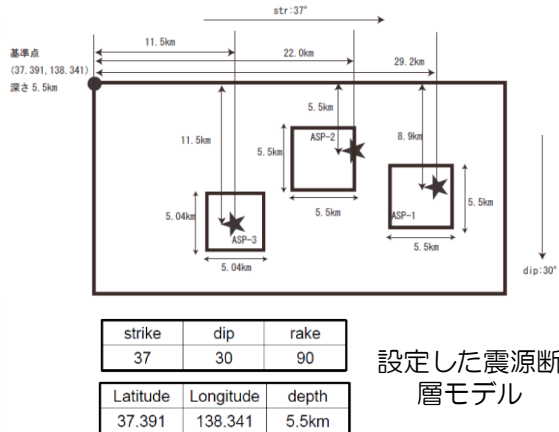
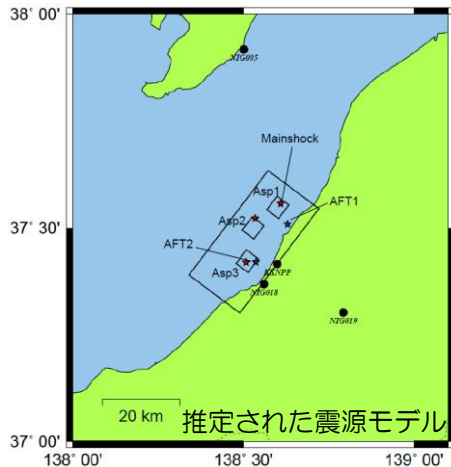
( ) 内は敷地内の観測点数

- 海底地震計の記録を用いて再決定された余震分布から、主断層面が南東傾斜であることが明らかとなった以降、主に南東傾斜とする特性化震源モデルが提案されている。
- 南東傾斜の主断層面に加え、震源域北東部の北西傾斜の断層面を考慮し、モデル化したものも存在するが、わずかである。これは、地震動評価上、北西傾斜の断層面の寄与が小さいためと考えられる。
- 地震動評価に用いる特性化震源モデルは、波形インバージョン法等によるすべり分布と比較的整合し、パラメータが明確となっている①、②及び③の特性化震源モデルにおいて、アスペリティ位置などに大きな相違が無いことを確認のうえ、ここでは③芝(2008)のモデルを用いて評価を行うこととした。

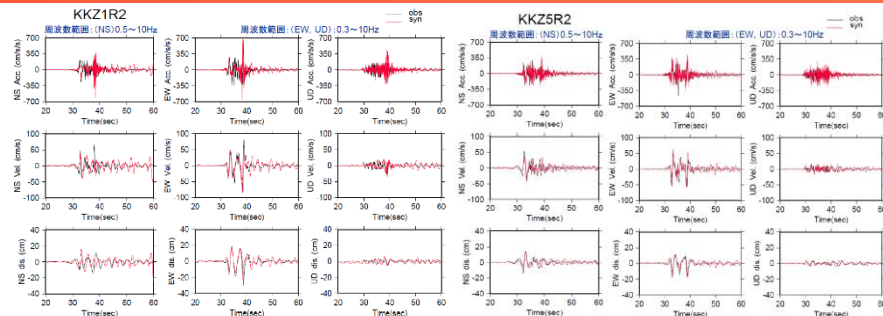
# 2007年新潟県中越沖地震（震源モデル）

## ①入倉ほか(2008)

経験的グリーン関数法を用いた震源断層のモデル化。



設定した震源断層モデル



合成された強震動（赤）と観測記録（黒）との比較

	Rupture start point	Depth (km)	Mo (Nm)
ASP1	(4,3)	10.0	$1.69 \times 10^{18}$
ASP2	(5,2)	8.3	$1.69 \times 10^{18}$
ASP3	(4,5)	11.3	$1.02 \times 10^{18}$

	L (km) × W (km)	$\Delta\sigma$ (MPa)	Risetime (second)
ASP1	5.5 × 5.5 (N:5 × 5)	23.7	0.5
ASP2	5.5 × 5.5 (N:5 × 5)	23.7	0.5
ASP3	5.04 × 5.04 (N:9 × 9)	19.8	0.45

入倉ほか(2008)より抜粋  
(一部加筆・修正)

## ②Kamae and Kawabe(2008)

経験的グリーン関数法によるフォワードモデリングにより震源断層面上のアスペリティの位置, 大きさ, 応力降下量を定量化。

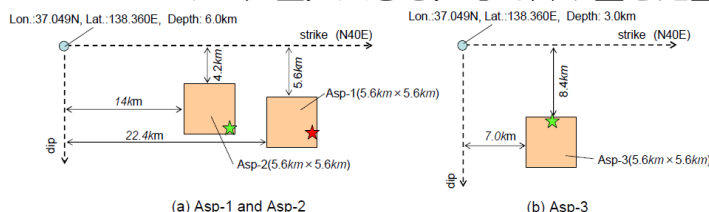
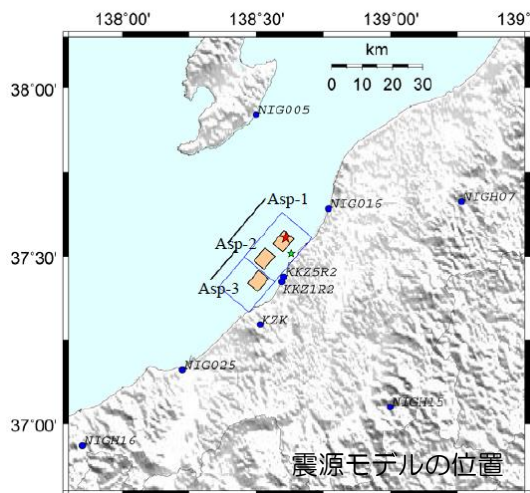


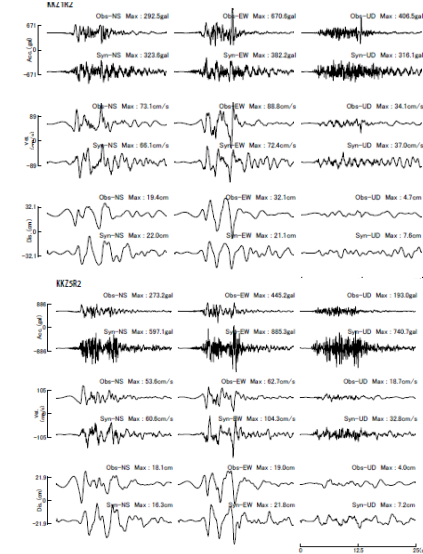
Figure 2 Source model of the Niigata Chuetsu-oki earthquake ( $M_w=6.8$ ). The red star and green stars indicate the location of the epicenter (the rupture start point of Asp-1) and the rupture start points of Asp-2 and Asp-3, respectively.

震源モデル

Table 3 Source parameters of the Niigata Chuetsu-oki earthquake ( $M_w=6.8$ )

	Strike (°)	Dip (°)	Rake (°)	S ( $km^2$ )	Mo (Nm)	$\Delta\sigma$ (MPa)
Asp-1	40	40	90	$5.6 \times 5.6$	$1.33 \times 10^{18}$	18.4
Asp-2	40	40	90	$5.6 \times 5.6$	$2.00 \times 10^{18}$	27.6
Asp-3	40	40	90	$5.6 \times 5.6$	$1.67 \times 10^{18}$	23.0

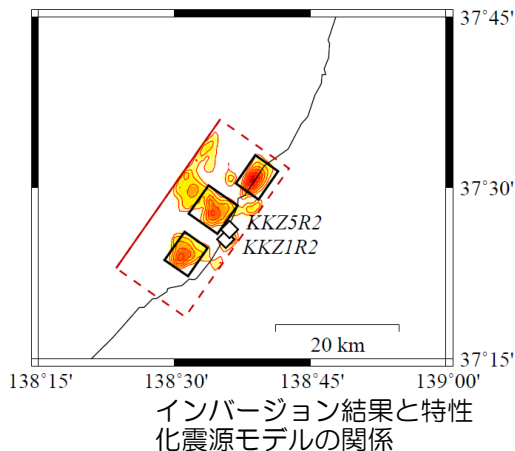
Kamae and Kawabe(2008)より抜粋 (一部加筆・修正)



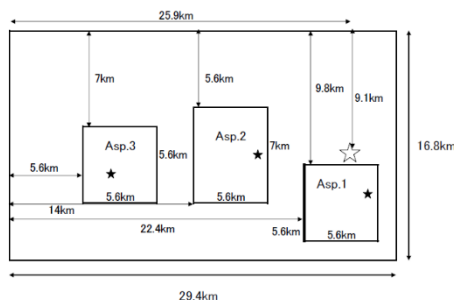
観測波形（上）と合成波形（下）の比較  
(上段：加速度, 中段：速度, 下段：変位)

# 2007年新潟県中越沖地震（震源モデル）

## ③芝(2008)



海域臨時観測の記録に基づく余震分布から南東傾斜の本震断層面を仮定し、震源インバージョン解析を実施。また、求めたすべり分布に基づき特性化震源モデルを提案。

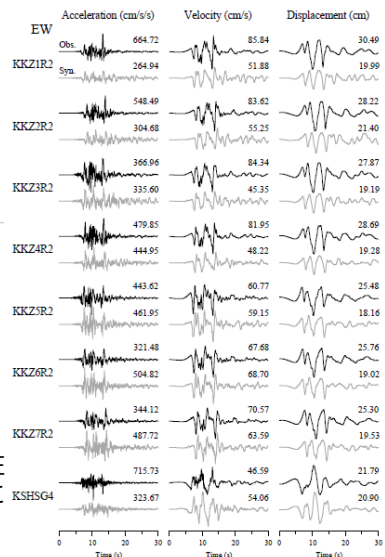


特性化震源モデルにおけるアスペリティの位置関係

特性化震源モデルの諸元

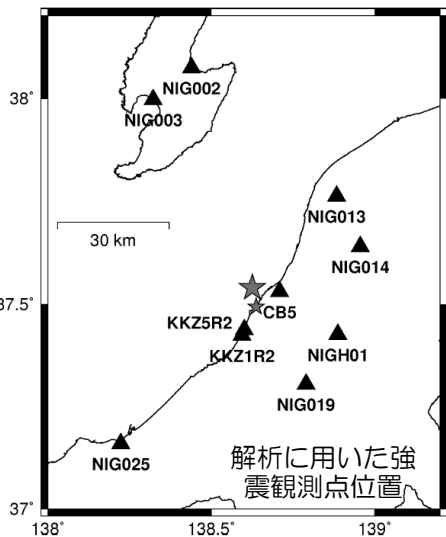
	Whole Fault	Asp. 1	Asp. 2	Asp. 3
Length (km)	29.4 (23.8)	5.6	5.6	5.6
Width (km)	16.8	5.6	7.0	5.6
Moment ( $10^{18}$ Nm)	10.2	1.83	2.11	1.43
Effective Stress (MPa)		25.47	20.84	19.91
Rise Time (s)		0.4	0.4	0.5
Rupture Velocity (km/s)		3.1	2.8	2.5
Rupture Time Delay (s)		0.2	1.8	0.0

柏崎サイト内の地点を対象とした、特性化震源モデルによる合成波形（灰色）と観測波形（黒）の比較（EW成分）



芝(2008)より抜粋（一部加筆・修正）

## ④山本・竹中(2009)



経験的グリーン関数法を用いたフォワードモデリングを行い、新潟県中越沖地震の震源モデルを推定。

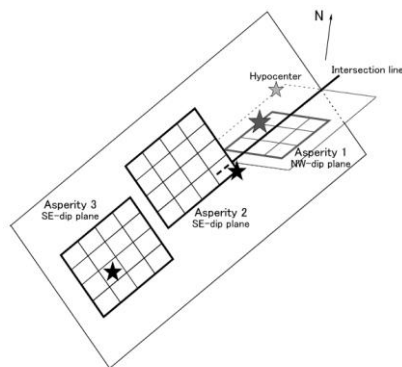


Fig. 5. Geometrical configuration of asperities. Asperity 1 is located on the NW-dipping plane including the hypocenter, while Asperities 2 and 3 are both located on the SE-dipping plane.

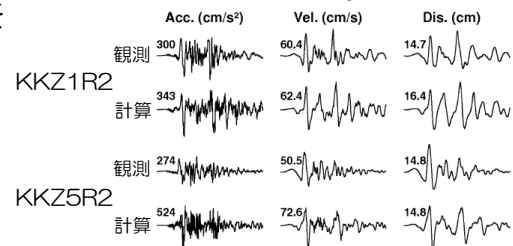
Table 3. Estimated source parameters of the three-asperity model.

	Asperity 1	Asperity 2	Asperity 3
Length (km)	4.5	6.0	6.0
Width (km)	4.5	6.0	6.0
Seismic moment (Nm)	$7.03 \times 10^{17}$	$1.27 \times 10^{18}$	$1.67 \times 10^{18}$
Stress drop (MPa)	19.5	14.8	19.5
Rupture velocity (km/s)	2.7	2.8	2.8
Rise time (s)	0.3	0.5	0.5
Rupture time (s)	0.0	2.3	5.9

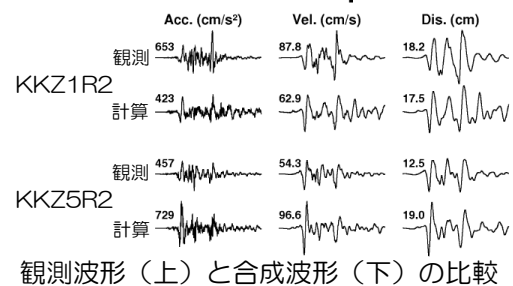
震源モデル

山本・竹中(2009)より抜粋（一部加筆・修正）

### NS component



### EW component



観測波形（上）と合成波形（下）の比較



# 2007年新潟県中越沖地震（震源モデル）

## ⑤野津(2010)

経験的サイト増幅特性・位相特性を踏まえた強震波形計算手法を用いたフォワードモデリングによる特性化震源モデルの作成。

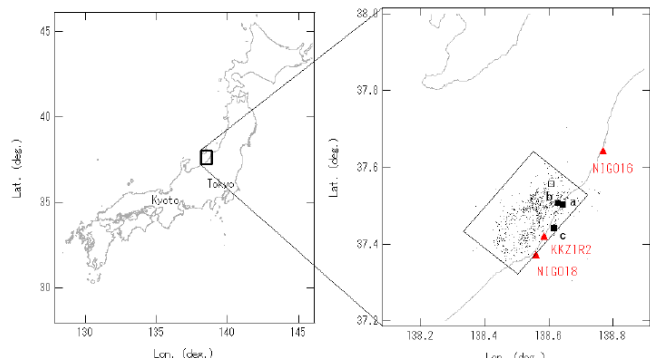
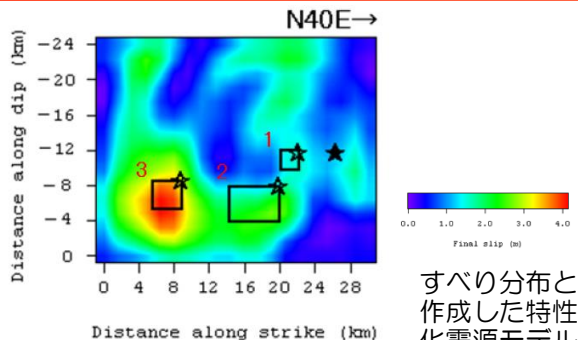


図-3 2007年新潟県中越沖地震の震源断層と本震の震央(□)、震源モデルの構築に用いた観測点(▲)、およびグリーン関数の位相を決めるために用いた中小地震 (aは7/16 15:37, bは7/16 21:08, cは7/18 16:53)。

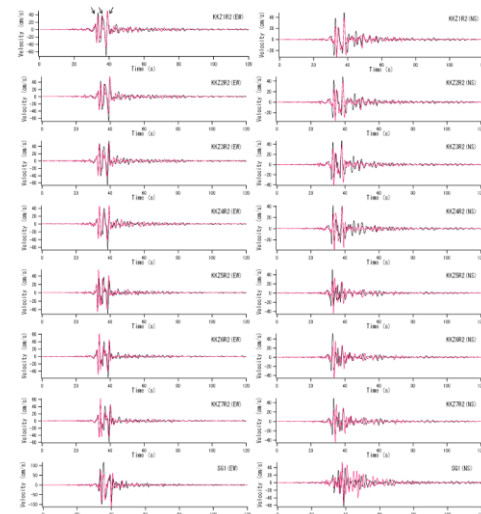


すべり分布と作成した特性化震源モデル

表-2 各アスペリティのパラメータ

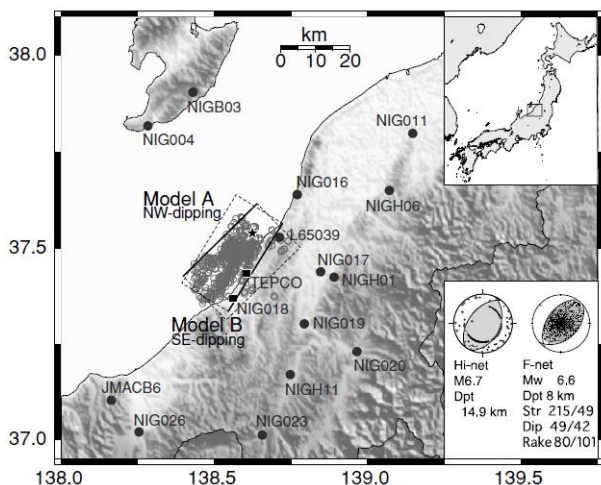
	アスペリティ1	アスペリティ2	アスペリティ3
面積 (km <sup>2</sup> )	4	24	9
地震モーメント (Nm)	4.0E+17	1.0E+18	1.0E+18
すべり量 (m)	3.0	1.3	3.4
ライスタイム (s)	0.17	0.33	0.25
分割数	5 × 5 × 5	5 × 5 × 5	5 × 5 × 5
相対的な破壊時刻 (s)	1.3	2.4	6.4
破壊伝播速度 (km/s)	3.0	3.0	3.0
破壊伝播様式	同心円状	同心円状	同心円状

野津(2010)より抜粋 (一部加筆・修正)



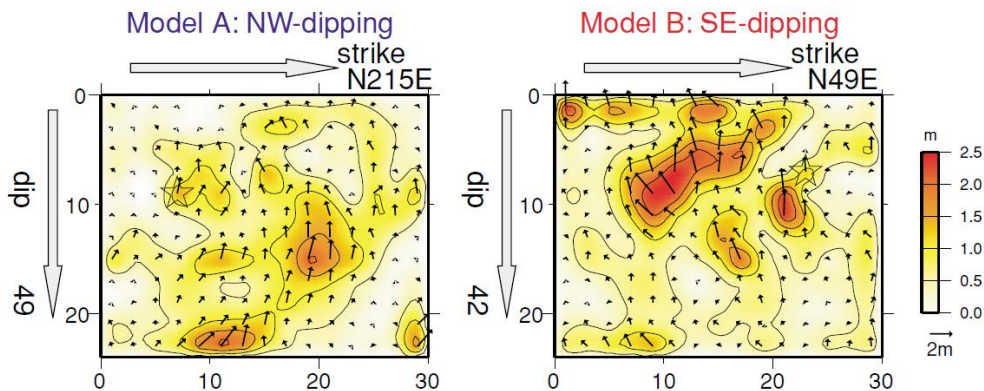
特性化震源モデルによる発電所の敷地における速度波形(0.2~1Hz) (観測結果(黒), 計算結果(赤))

## ⑥Aoi et al.(2008)



インバージョン解析に用いた観測点配置図

線形波形インバージョン法により震源インバージョン解析を実施し、すべり分布を推定。



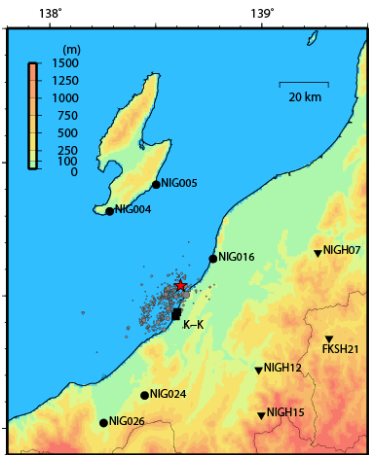
すべり分布図 (Model A: 北西傾斜, Model B: 南東傾斜)

Aoi et al.(2008)より抜粋 (一部加筆・修正)

# 2007年新潟県中越沖地震（震源モデル）

## ⑦引間・瀬瀬(2008)

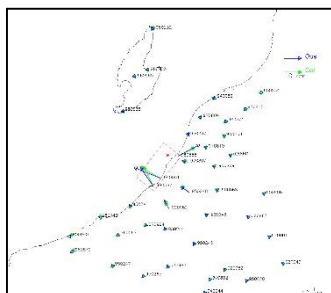
近地強震記録を基本に、測地データや遠地実体波を同時に利用するジョイントインバージョン法によりすべり分布を推定。



近地強震記録によるイノベーションに用いた観測点の位置

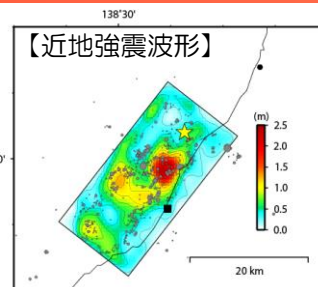


遠地実体波によるイノベーションに用いた観測点の位置

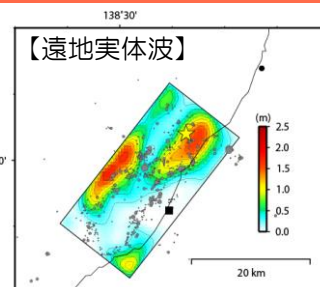


測地データによるイノベーションに用いた観測点の位置（観測値と計算値の比較）

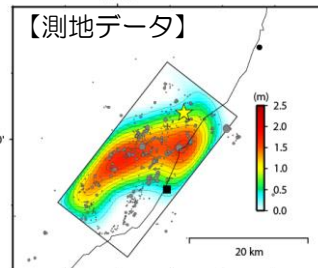
引間・瀬瀬(2008)より抜粋（一部加筆・修正）



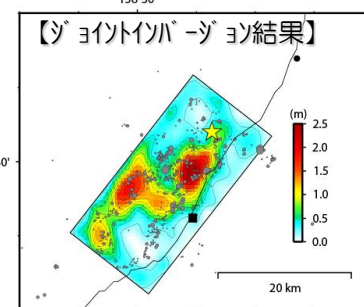
【近地強震波形】



【遠地実体波】



【測地データ】

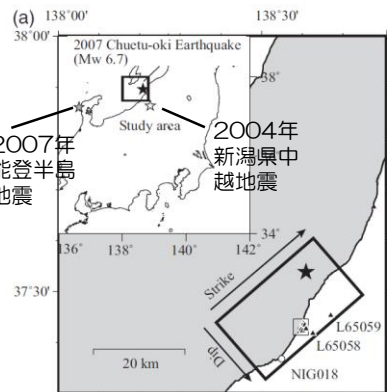


【ジョイントイノベーション結果】

推定されたすべり分布

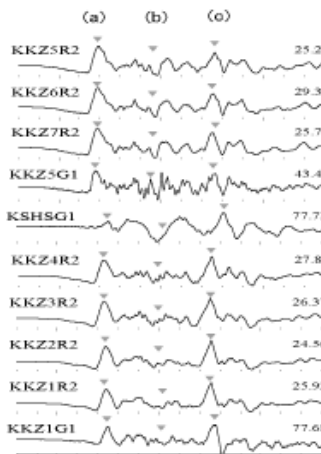
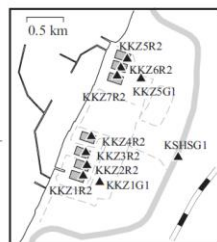
## ⑧Honda and Aoi(2009)

アレイバックプロジェクション法により、新潟県中越沖地震の震源過程・破壊伝播速度を推定。



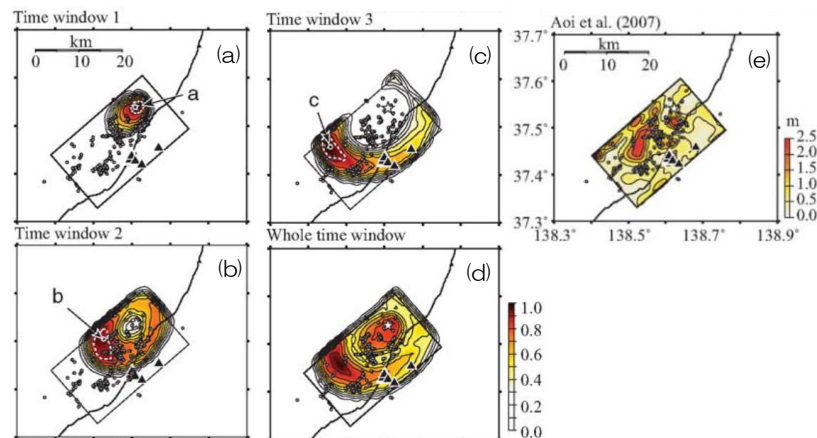
震源断層と観測点

震源及び柏崎刈羽原子力発電所内の観測点分布。太線の四角が仮定した断層面。▲が解析に使用した観測点。



発電所内の観測点で得られた地震波形（速度波形）

(a), (b) 及び (c) の三つパルス状の波が確認できる（各観測波形の対応する部分を△で示す）。



(a), (b) 及び (c) は左図の中の三つのパルス状の波の震源に対応する。(d) は波形全体を使った結果。(e) はAoi et al. (2007) の波形インバージョンの結果

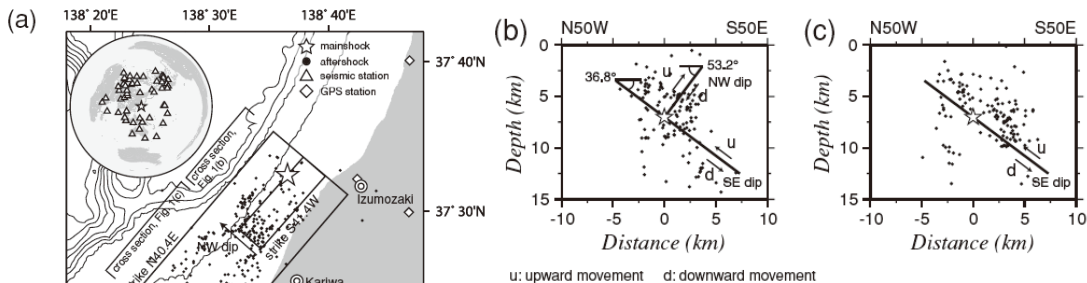
推定されたアスペリティ分布

Honda and Aoi(2009)より抜粋（一部加筆・修正）

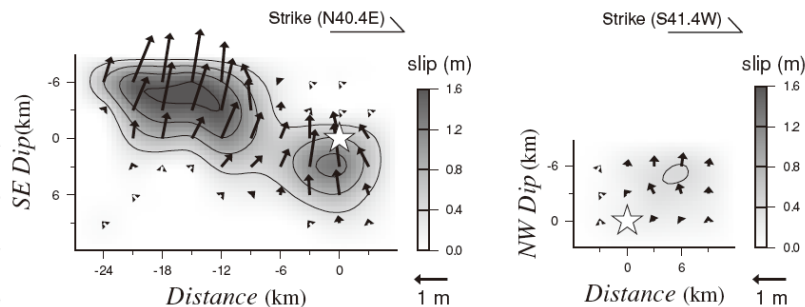
# 2007年新潟県中越沖地震（震源モデル）

## ⑨ Nakamura et al. (2009)

遠地波形を用いた波形インバージョンによりすべり分布を評価。主に南東傾斜の断層面に沿ってエネルギーが解放されたとしている。



(a) ☆本震震央位置、●最大余震前までの余震分布  
(b) 震源域北西部の断層概念図  
(c) 震源域南東部の断層概念図



波形インバージョンから求めたすべり分布

Nakamura et al. (2009) より抜粋（一部加筆・修正）

## ⑩ Miyake et al. (2010)

波形インバージョンと経験的グリーン関数法を用いた検討にあわせ、P波初動とパルス1,3到着の時間差を用いた連係震源決定を行い、南東傾斜面の方が整合性が高いことを確認。

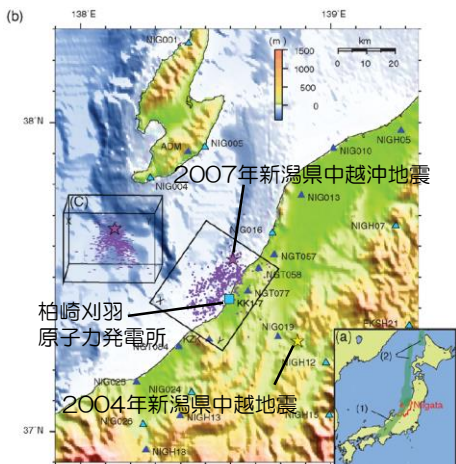


図1 (a) 新潟県と(1)新潟-神戸および(2)日本海東縁ひずみ集中帯。 (b) 2007年新潟県中越沖地震の震央と12時間後までの余震分布。 (c) 本震と余震分布の三次元表示

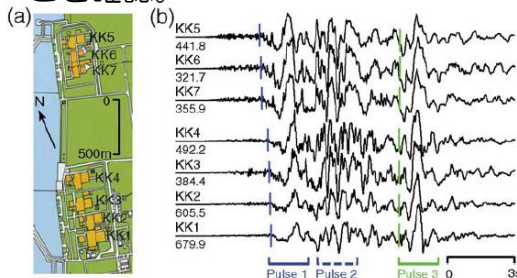


図2 (a) 柏崎刈羽原子力発電所内の配置。 (b) 各原子炉の基礎マット上強震計による記録の記録セクション。 | はパルス1,3の到着時刻の読み取り位置  
Miyake et al. (2010) より抜粋  
(一部加筆・修正)

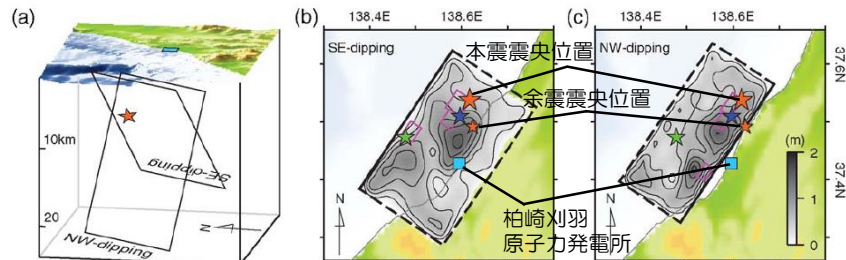


図3 (a) 南東及び北西傾斜面と震源★の三次元表示。 (b) 南東傾斜面の場合のすべり分布。 (c) 北西傾斜面の場合のすべり分布 (★第1, ★第3 37.4N 37.6N 37.8N 38.0N 38.2N 38.4N 38.6N 38.8N 39.0N 138.4E 138.6E 138.8E 139.0E)

すべり分布のアスペリティ部分では余震の発生が少なく、すべり分布と余震分布の相補的な関係も明瞭

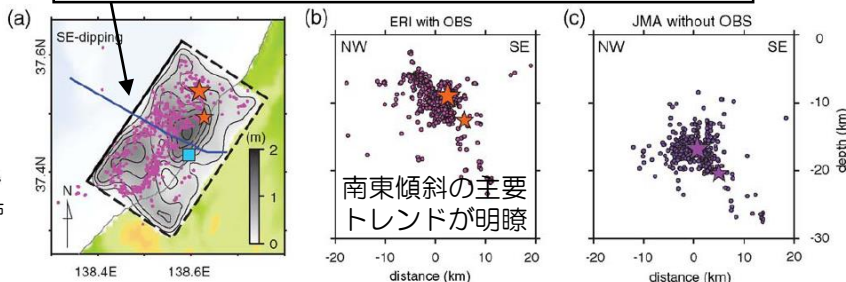


図4 (a) 海底地震計データを加えた震源再決定による余震分布。 (b) 再決定された余震分布。 (c) 気象庁一元化震源の場合。

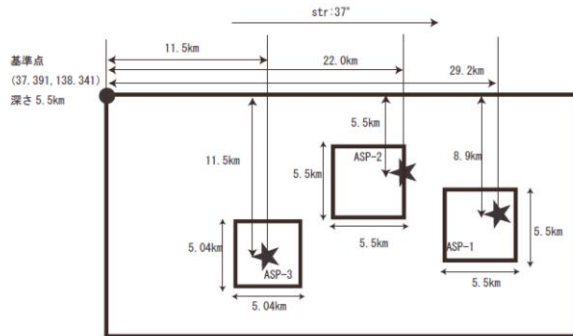
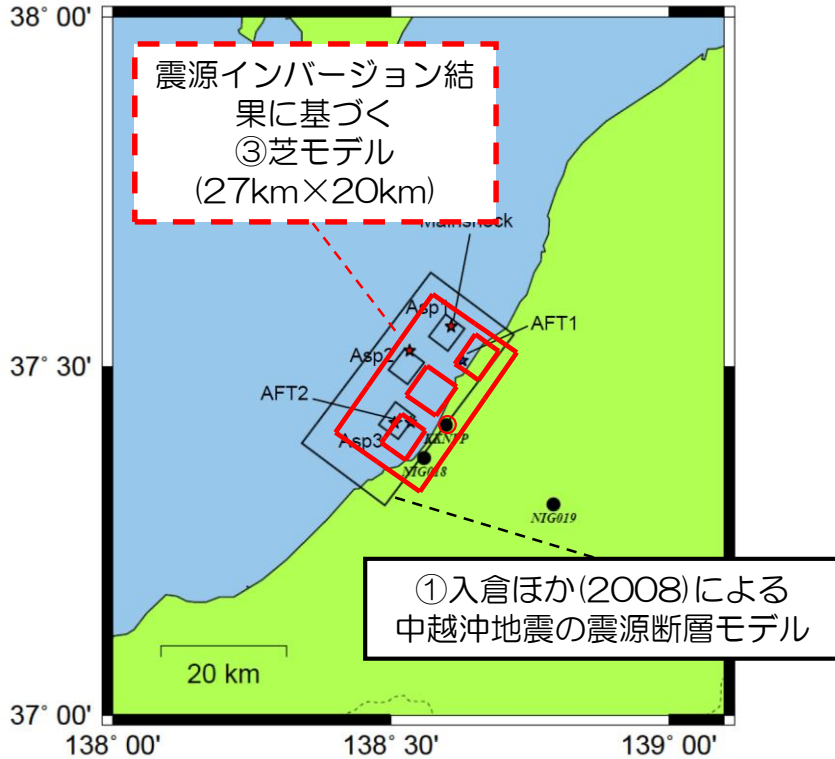
# 2007年新潟県中越沖地震（①、②及び③モデルの比較）

## 各モデルの概要と主な特性化震源パラメータ

	モデル名		走向, 傾斜角	アスペリティ		応力降 下量 (MPa)	地震モーメント ( $\times 10^{18}$ N·m)	破壊伝播 速度 (km/s)
				アスペリティ 名	面積 (km <sup>2</sup> )			
①入倉ほか (2008)	入倉 モデル	<ul style="list-style-type: none"> <li>■各観測点におけるパルス波の到達時間差からアスペリティ位置を推定</li> <li>■破壊伝播速度は一定</li> </ul>	37度, 30度	Asp1	5.5×5.5	23.7	1.69	2.7
				Asp2	5.5×5.5	23.7	1.69	
				Asp3	5.04×5.04	19.8	1.02	
②Kamae and Kawabe (2008)	釜江 モデル	<ul style="list-style-type: none"> <li>■フォワードモデリングによりアスペリティ位置を推定</li> <li>■深さの異なる2枚断層モデルを仮定</li> <li>■破壊伝播速度は一定</li> </ul>	40度, 40度	Asp1	5.6×5.6	18.4	1.33	2.7
				Asp2	5.6×5.6	27.6	2.00	
				Asp3	5.6×5.6	23.0	1.67	
③芝 (2008)	芝 モデル	<ul style="list-style-type: none"> <li>■震源インバージョン解析により求められたすべり分布を基準にアスペリティ位置を設定</li> <li>■破壊伝播速度もインバージョン結果を参考にアスペリティごとに設定</li> </ul>	35度, 35度	第1	5.6×5.6	25.5	1.83	3.1
				第2	5.6×7.0	20.8	2.11	2.8
				第3	5.6×5.6	19.9	1.43	2.5

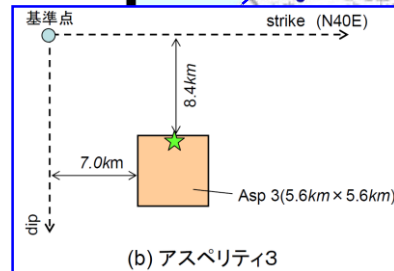
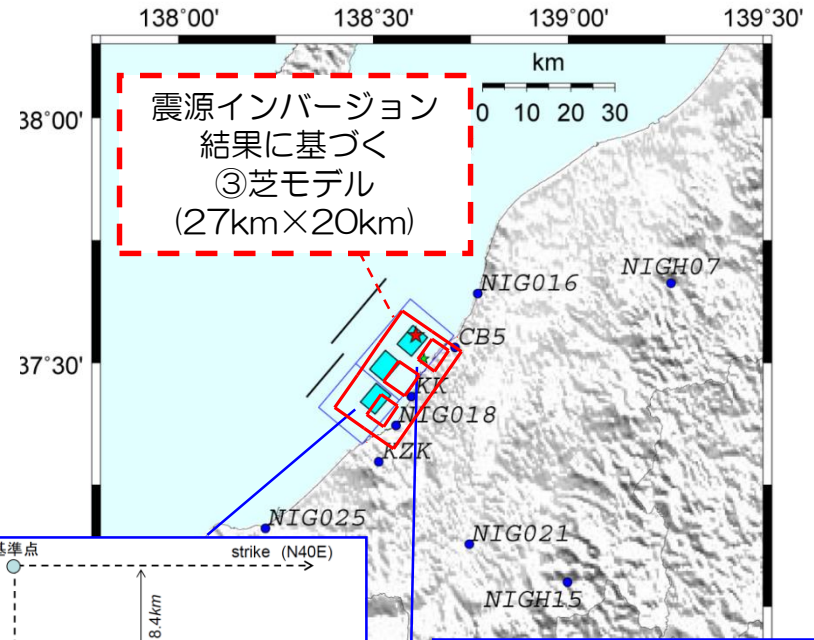
# 2007年新潟県中越沖地震 (①, ②及び③モデルの比較)

## ①入倉モデルと③芝モデルの比較

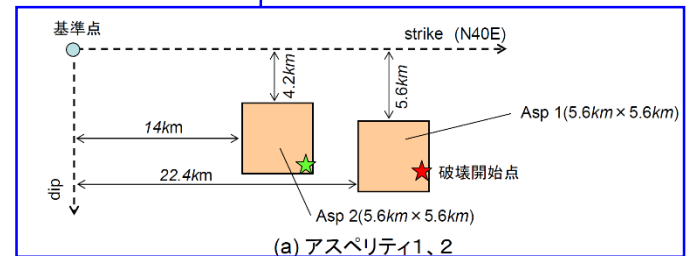


入倉ほか(2008)  
より抜粋  
(一部加筆・修正)

## ②釜江モデルと③芝モデルの比較

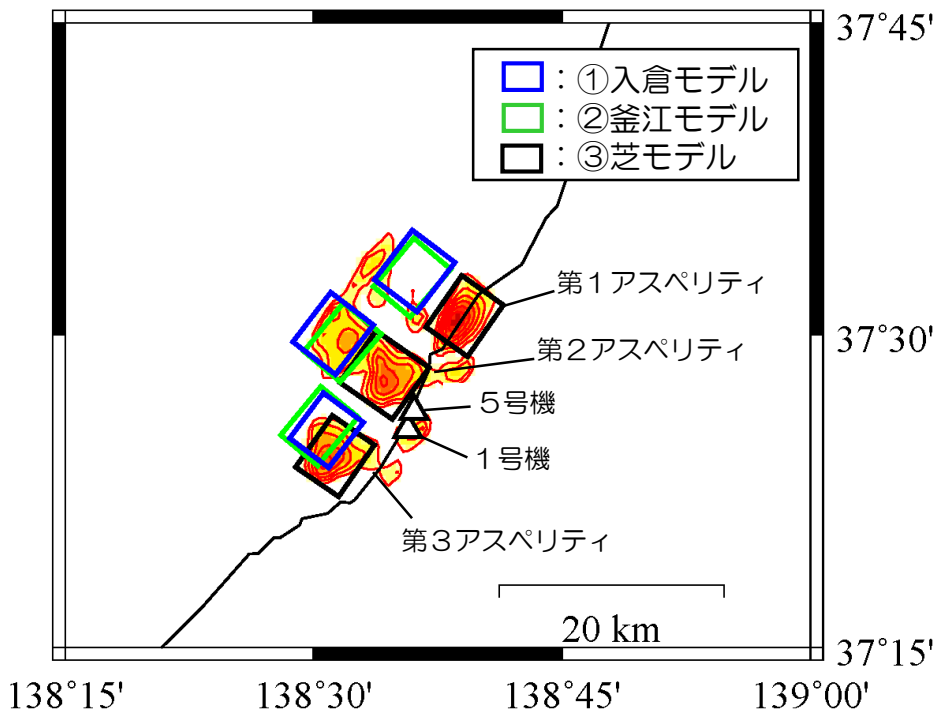


②Kamae and Kawabe(2008)による  
中越沖地震の震源断層モデル



Kamae and Kawabe(2008)より抜粋 (一部加筆・修正)

# 2007年新潟県中越沖地震（①、②及び③モデルの比較）



□：各モデルのアスペリティ  
 コンターは震源インバージョンで推定されたすべり分布を表す

アスペリティから1号機までの最短距離(km)

	第1アスペリティ	第2アスペリティ	第3アスペリティ
①入倉モデル	15	13	13
②釜江モデル	16	14	12
③芝モデル	16	12	13

アスペリティから5号機までの最短距離(km)

	第1アスペリティ	第2アスペリティ	第3アスペリティ
①入倉モデル	14	13	13
②釜江モデル	15	14	12
③芝モデル	15	12	13

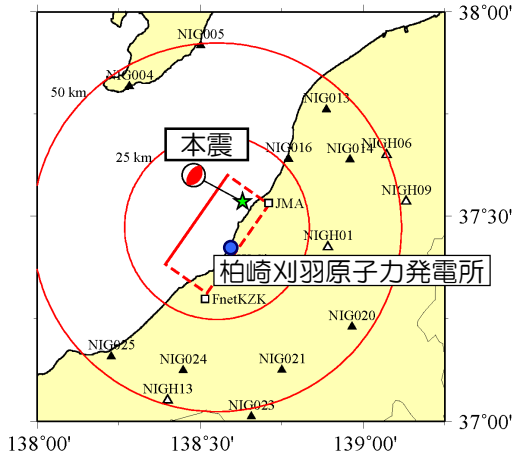
- 芝モデルのアスペリティ位置は、入倉モデル、釜江モデルに比べてやや南東側に分布するが、アスペリティ面積、モーメント、実効応力などの主要なパラメータは概ねよく一致している。
- また、アスペリティから敷地までの最短距離は、モデル間の差異はほとんどないことがわかる。
- アスペリティ位置が異なる理由としては、推定手法の違いや破壊伝播速度の相違などが考えられる。



以上の整理結果を踏まえ、2007年新潟県中越沖地震については、芝(2008)による震源モデルを用いることとした。

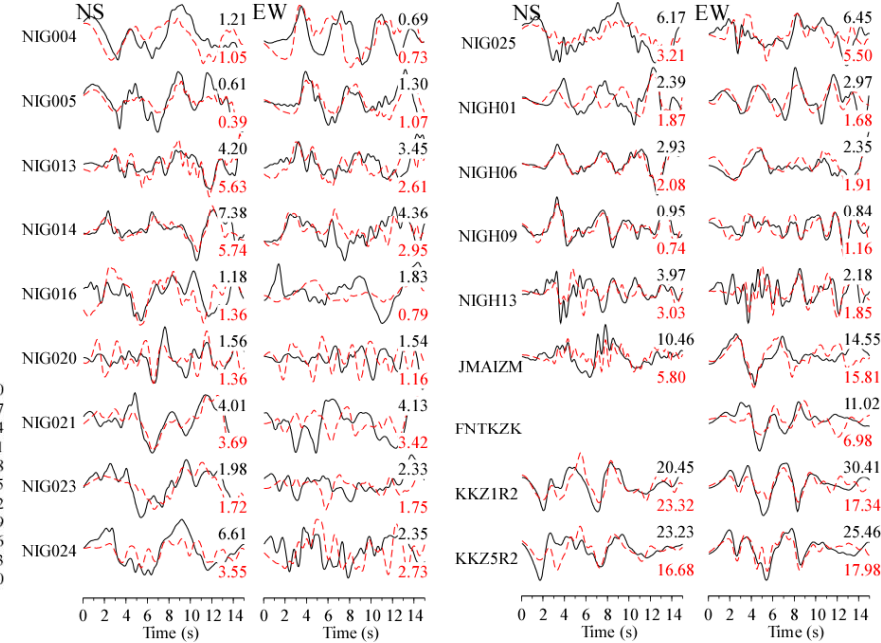
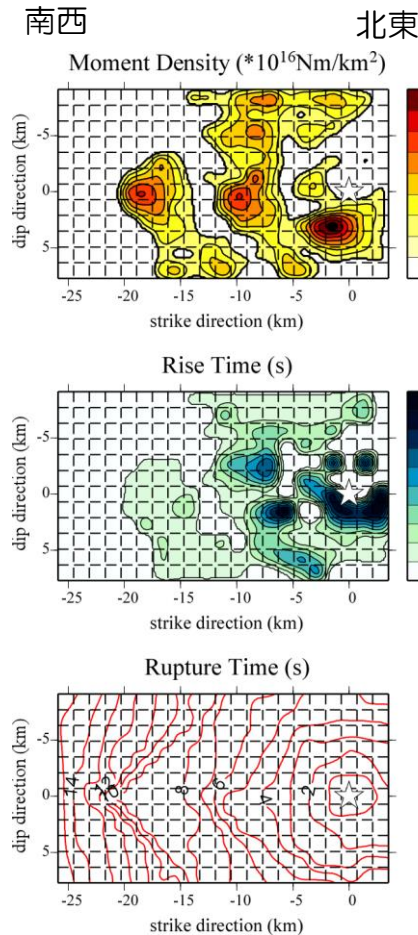
# 中越沖地震 震源インバージョン 芝(2008)

- 震源インバージョンでは、経験的グリーン関数法を用いた手法により、本震断層面上での地震モーメント密度分布、立ち上がり時間分布および破壊時刻の時空間分布を推定。
- インバージョンの計算波形は、各観測点の観測波形の再現性が高いことを確認。



- 初期断層面  
南東傾斜, 1枚断層  
走向35度, 傾斜角35度\*
- 解析に用いた観測点  
○ 柏崎サイト: 2地点  
(1・5号機の基礎版上)  
○ OK-NET: 10地点  
○ KiK-net: 4地点  
○ OJMA, F-net: 各1地点
- 対象波形  
○ 解析周波数帯域0.1~2Hz  
○ 変位波形  
○ 水平2成分

\*地震本部(2007, 2008)により公開された本震と余震の震源分布を参考に設定された値。



推定された震源モデルに基づく計算波形(赤線)と観測記録(黒線)の比較(解析周波数帯域0.1~2Hz, 変位波形)

【参考: インバージョン時の要素地震の選定理由】

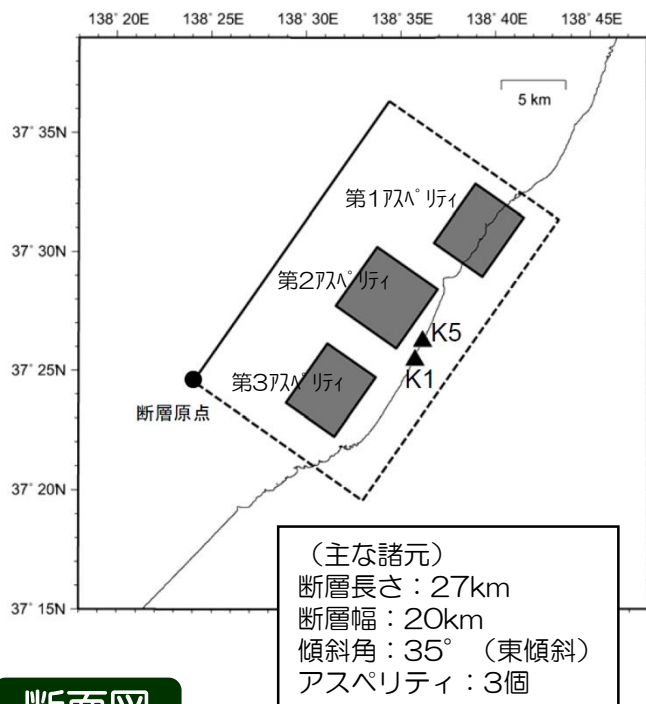
- ① 中越沖地震ではM4程度以上の余震の発生頻度が低かった中で、本余震はM4.4である。
- ② 複数の観測点で良好な記録が得られている。

芝(2008)より抜粋(一部加筆・修正)

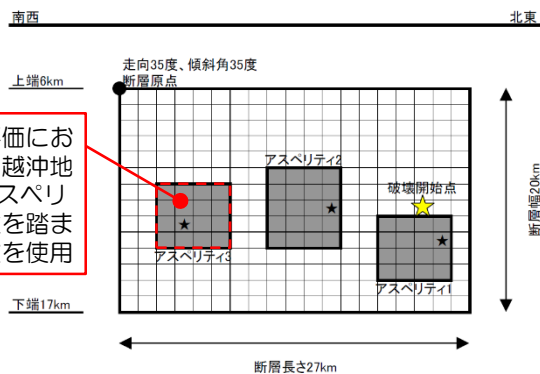
# 震源モデルの設定

## 中越沖地震 アスぺリティモデル(M6.8)

### 平面図



### 断面図



■ 中越沖地震の震源インバージョン結果等を参考に、アスぺリティモデルを構築。(断層長さ27km×断層幅20km)

### 断層パラメータ

項目		設定値	
巨視的断層面	基準点	東経(°)	138.40
		北緯(°)	37.41
	断層上端深さ(km)	6	
	断層長さ(km)	27.0	
	断層幅(km)	20.0	
	断層面積(km <sup>2</sup> )	540	
	走向(°)	35	
	傾斜角(°)	35	
	破壊伝播形式	マルチホブ・セクター	
	S波速度(km/s)	3.4	
地震モーメント(N・m)	9.3×10 <sup>18</sup>		
アスぺリティ1	面積(km <sup>2</sup> )	31	
	地震モーメント(N・m)	1.8×10 <sup>18</sup>	
	平均すべり量(cm)	187	
	応力降下量(MPa)	25	
	破壊伝播速度(km/s)	3.1	
破壊時間遅れ(s)	0.2		

項目		設定値
アスぺリティ2	面積(km <sup>2</sup> )	39
	地震モーメント(N・m)	2.1×10 <sup>18</sup>
	平均すべり量(cm)	173
	応力降下量(MPa)	21
	破壊伝播速度(km/s)	2.8
破壊時間遅れ(s)	1.8	
アスぺリティ3	面積(km <sup>2</sup> )	31
	地震モーメント(N・m)	1.4×10 <sup>18</sup>
	平均すべり量(cm)	146
	応力降下量(MPa)	20
	破壊伝播速度(km/s)	2.5
破壊時間遅れ(s)	0.0	
背景領域	面積(km <sup>2</sup> )	419
	地震モーメント(N・m)	3.9×10 <sup>18</sup>
	平均すべり量(cm)	30
	実効応力(MPa)	5.1
破壊伝播速度(km/s)	2.3	

□ : 地質調査結果等に基づく

□ : 中越沖地震の震源インバージョン結果に基づく

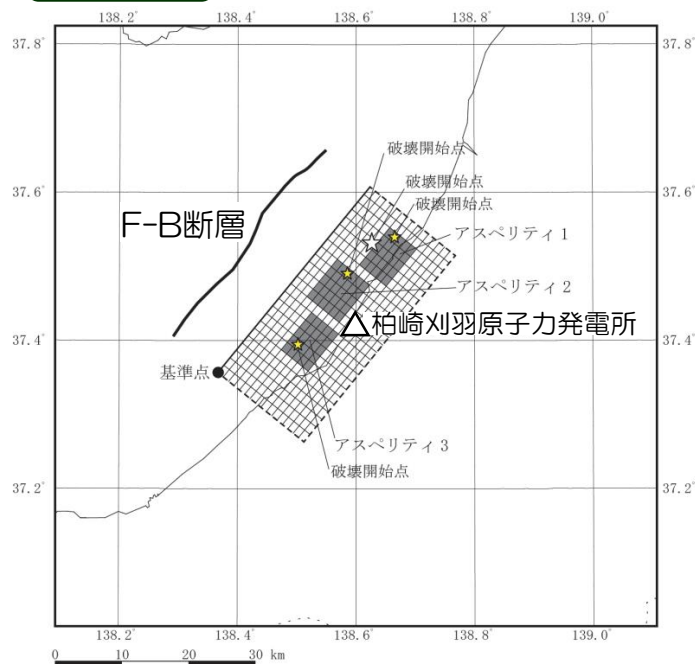


# 震源モデルの設定

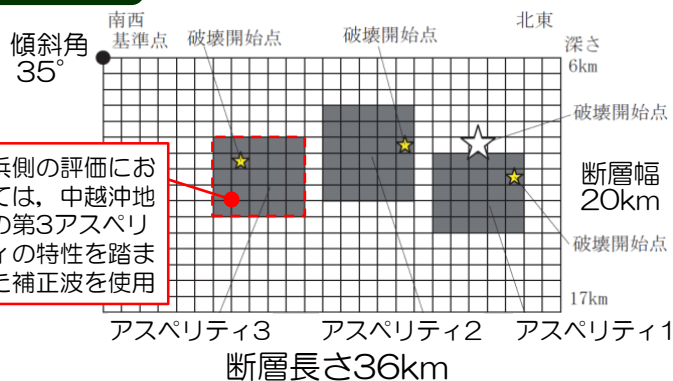
## F-B断層による地震

## 中越沖地震拡張モデル(M7.0)

### 平面図



### 断面図



■ 中越沖地震のアスペリティモデルを基本震源モデルとし、断層長さの不確かさを考慮して36km(M7.0)に拡張し、F-B断層の断層モデルを設定。

### 断層パラメータ

項目		設定値	
巨視的断層面	基準点	東経(°)	138.37
		北緯(°)	37.36
	断層上端深さ(km)	6	
	断層長さ(km)	36.0	
	断層幅(km)	20.0	
	断層面積(km <sup>2</sup> )	720	
	走向(°)	39	
	傾斜角(°)	35	
	破壊伝播形式	マルチ体センター	
	S波速度(km/s)	3.4	
地震モーメント(N・m)	1.7×10 <sup>19</sup>		
アスペリティ2	面積(km <sup>2</sup> )	52	
	地震モーメント(N・m)	3.8×10 <sup>18</sup>	
	平均すべり量(cm)	230	
	応力降下量(MPa)	21	
アスペリティ3	面積(km <sup>2</sup> )	42	
	地震モーメント(N・m)	2.5×10 <sup>18</sup>	
	平均すべり量(cm)	195	
	応力降下量(MPa)	20	
背景領域	面積(km <sup>2</sup> )	584	
	地震モーメント(N・m)	7.0×10 <sup>18</sup>	
	平均すべり量(cm)	38	
	実効応力(MPa)	5.1	
アスペリティ1	面積(km <sup>2</sup> )	42	
	地震モーメント(N・m)	3.3×10 <sup>18</sup>	
	平均すべり量(cm)	249	
	応力降下量(MPa)	25	
背景領域	破壊伝播速度(km/s)	3.1	
	破壊時間遅れ(s)	0.2	
背景領域	面積(km <sup>2</sup> )	584	
	地震モーメント(N・m)	7.0×10 <sup>18</sup>	
	平均すべり量(cm)	38	
	実効応力(MPa)	5.1	
背景領域	破壊伝播速度(km/s)	2.3	

□ : 地質調査結果等に基づく  
 □ : 中越沖地震の震源インバージョン結果に基づく

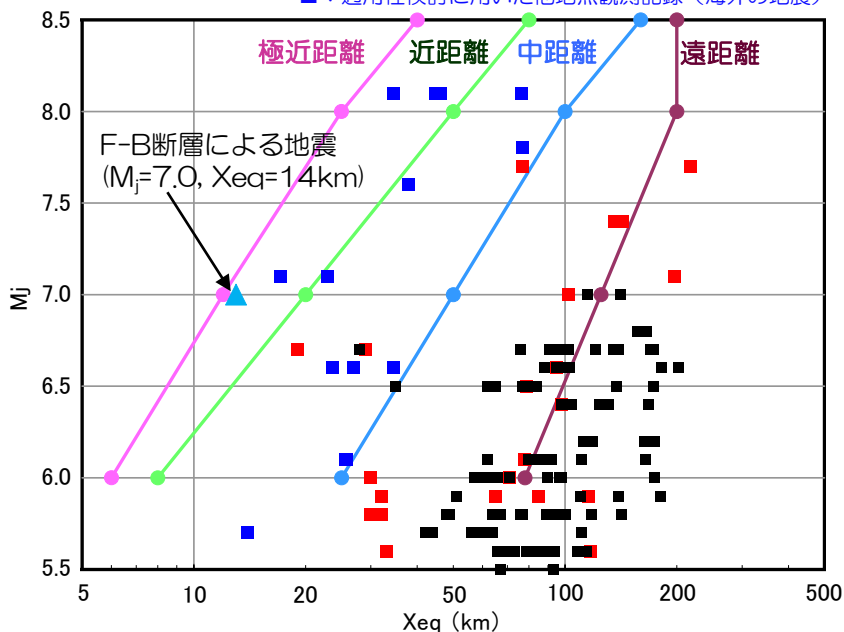
1. 地震発生層の設定
2. 検討用地震の選定
  - 2.1 孤立した短い活断層
  - 2.2 副次的な断層
  - 2.3 被害地震の選定
  - 2.4 検討用地震の選定
3. F-B断層による地震の地震動評価
  - 3.1 震源モデルの設定と不確かさの考え方
  - 3.2 応答スペクトルに基づく地震動評価
  - 3.3 断層モデルを用いた手法による地震動評価
  - 3.4 評価の妥当性に関する検討
4. 長岡平野西縁断層帯による地震の地震動評価
  - 4.1 震源モデルの設定と不確かさの考え方
  - 4.2 応答スペクトルに基づく地震動評価
  - 4.3 断層モデルを用いた手法による地震動評価
  - 4.4 評価の妥当性に関する検討
5. 基準地震動の策定
6. 佐渡島南方～魚津断層帯による地震の地震動評価

# 評価手法と観測記録に基づく補正係数

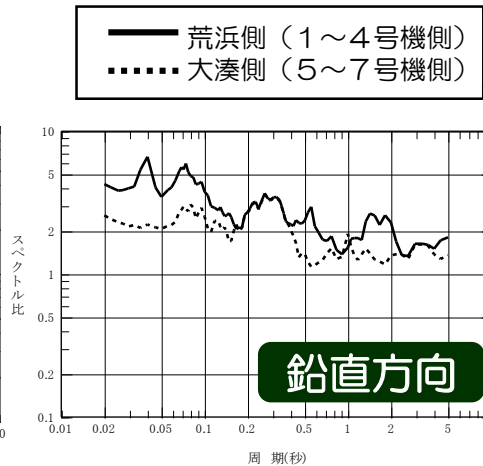
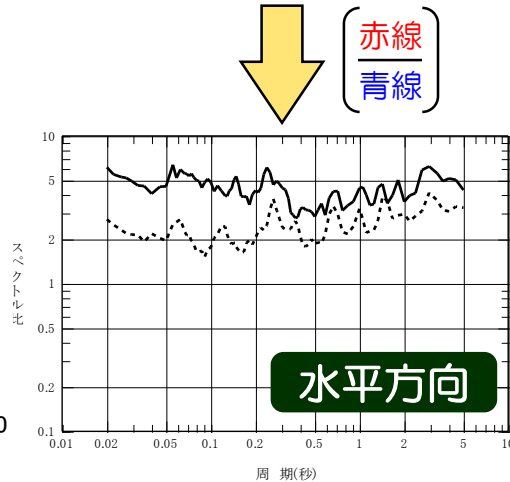
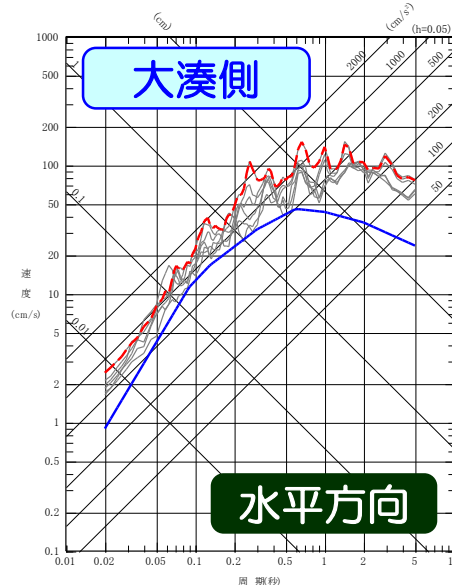
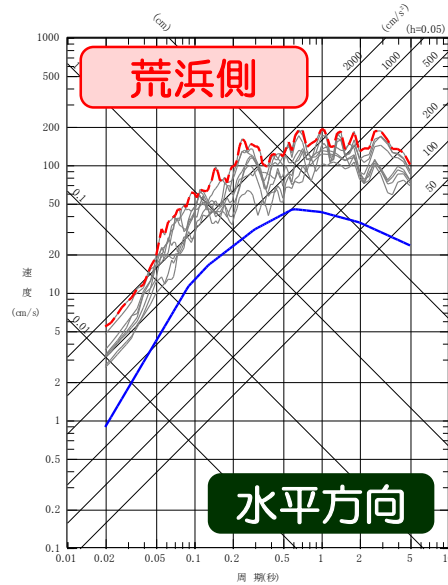
- 評価手法は、Noda et al.(2002)による手法を採用。
- 地震波の伝播特性を反映するため、観測記録に基づく補正係数を考慮。

■ 観測記録に基づく補正係数は、中越沖地震における荒浜側（1～4号機側）と大湊側（5～7号機側）の原子炉建屋基礎版上の観測記録から推定した解放基盤波（灰色線）をそれぞれ安全側に包絡した応答スペクトル（赤線）とNoda et al.(2002)による応答スペクトル（青線）の比として設定。

- : 回帰式の作成に用いた観測記録
- : 適用性検討に用いた他地点観測記録（国内の地震）
- : 適用性検討に用いた他地点観測記録（海外の地震）



原子力安全委員会(2009)「応答スペクトルに基づく地震動評価」に関する専門家との意見交換会、資料第1-2号より抜粋（一部加筆・修正）

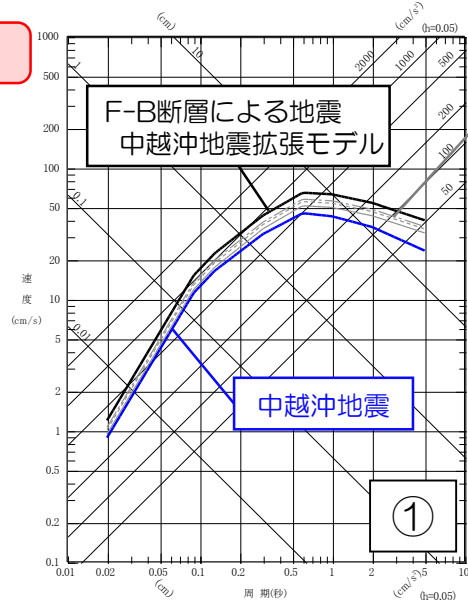


- 荒浜側（1～4号機側）
- ⋯ 大湊側（5～7号機側）

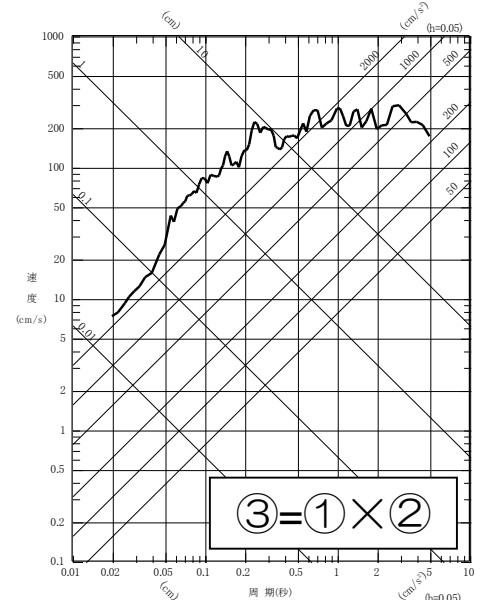
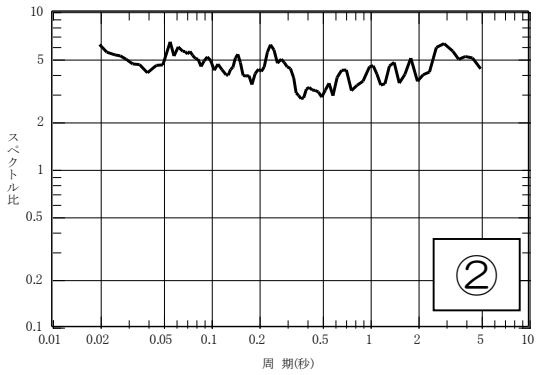
観測記録に基づく補正係数

# 補正係数を用いた評価

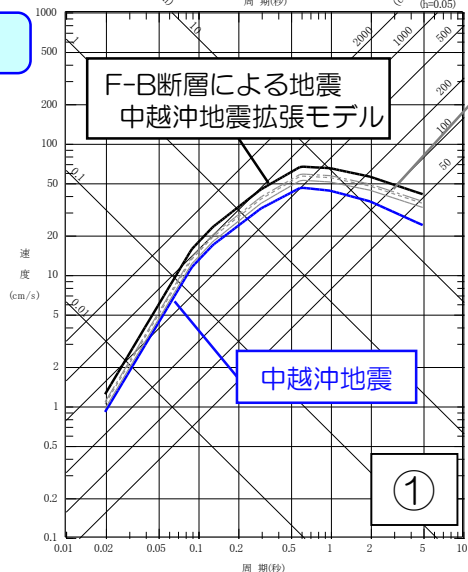
荒浜側



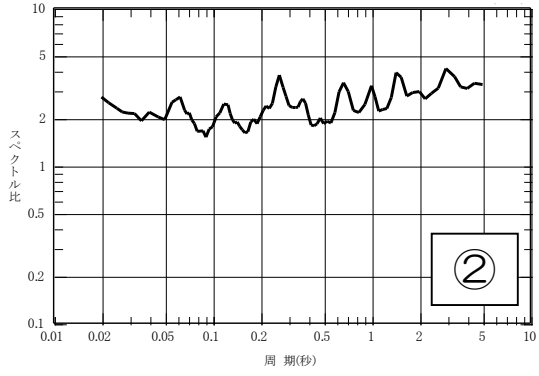
F-B断層による地震  
 — 強震動シミュレーション  
 - - - 強震動シミュレーション (アスペリティ位置の不確かさ)  
 ··· 強震動シミュレーション (断層傾斜角の不確かさ)



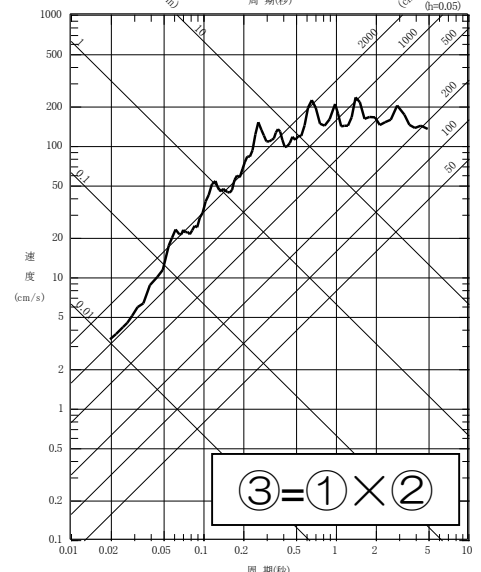
大湊側



F-B断層による地震  
 — 強震動シミュレーション  
 - - - 強震動シミュレーション (アスペリティ位置の不確かさ)  
 ··· 強震動シミュレーション (断層傾斜角の不確かさ)



観測記録に基づく補正係数



Noda et al.(2002)による評価

注) 水平動の結果。鉛直動も同様の方法で算定。

応答スペクトル法に基づく評価  
 F-B断層による地震 (M7.0, Xeq=13km)

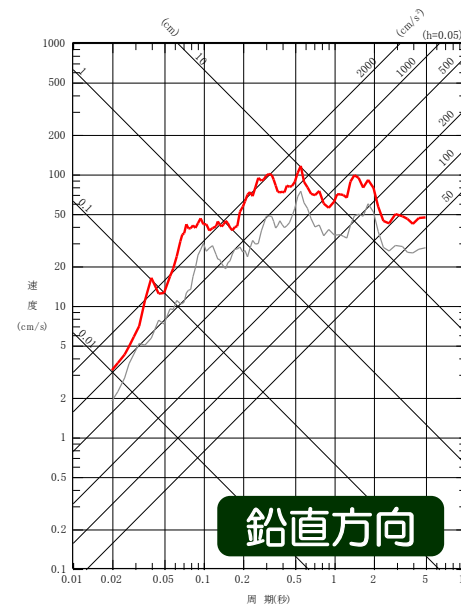
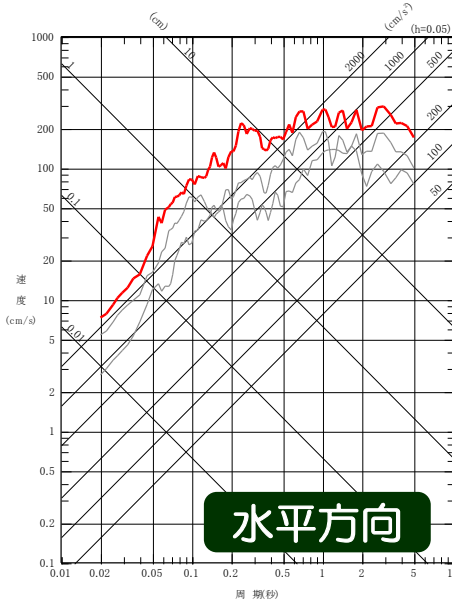
# 地震動評価結果

## 荒浜側

- F-B断層による地震(M7.0, Xeq=13km)
- 【参考】中越沖地震解放基盤波(1号機)



F-B断層による地震の評価結果を  
基準地震動Ss-1として策定

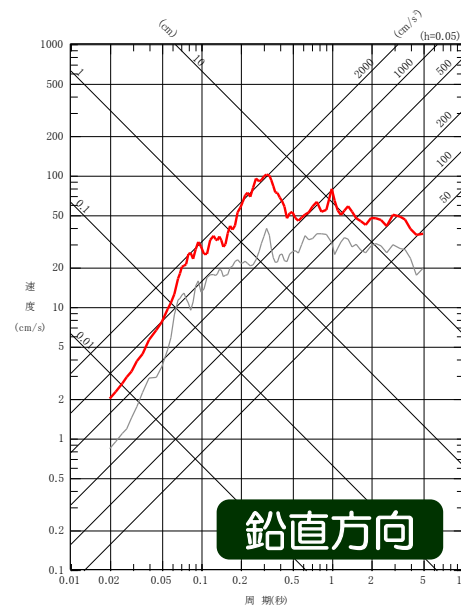
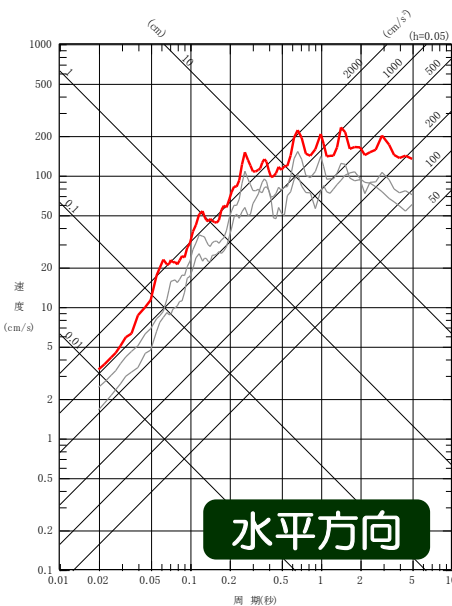


## 大湊側

- F-B断層による地震(M7.0, Xeq=13km)
- 【参考】中越沖地震解放基盤波(5号機)



F-B断層による地震の評価結果を  
基準地震動Ss-1として策定

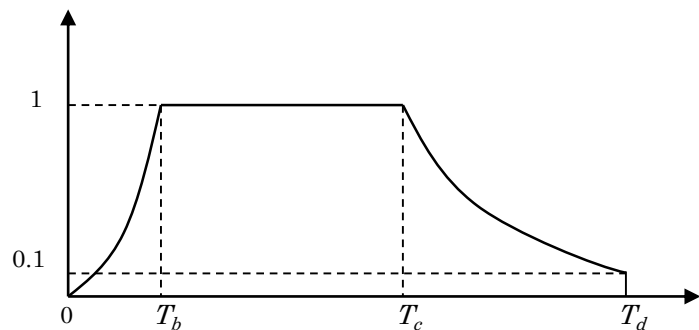


# 模擬地震波の作成 (Ss-1)

- 応答スペクトルに適合する模擬地震波は、位相角を一様乱数とした正弦波を重ね合わせて、目標とする応答スペクトルに適合するように補正して作成する。
- 振幅包絡線の経時変化については、Noda et al.(2002)に基づくものとする。

模擬地震波の振幅包絡線の経時変化

地震規模 (M)	等価震源距離 (X <sub>eq</sub> ) (km)	振幅包絡線の経時変化 (秒)		
		T <sub>b</sub>	T <sub>c</sub>	T <sub>d</sub>
7.0	13	3.72	16.30	31.85



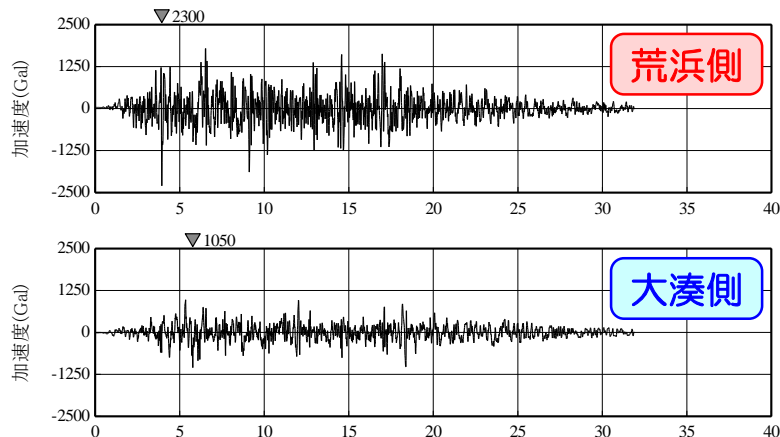
$$T_b = 10^{0.5M - 2.93}$$

$$T_c - T_b = 10^{0.3M - 1.0}$$

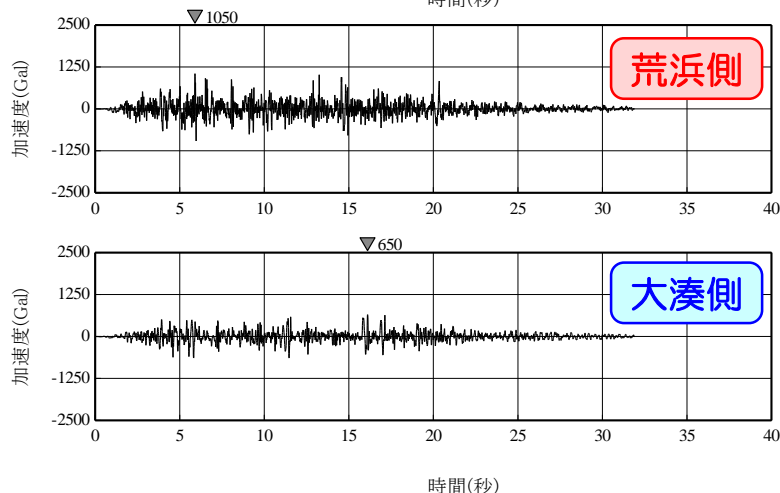
$$T_d - T_c = 10^{0.17M + 0.54 \log X_{eq} - 0.6}$$

## 作成した模擬地震波

### 水平方向



### 鉛直方向



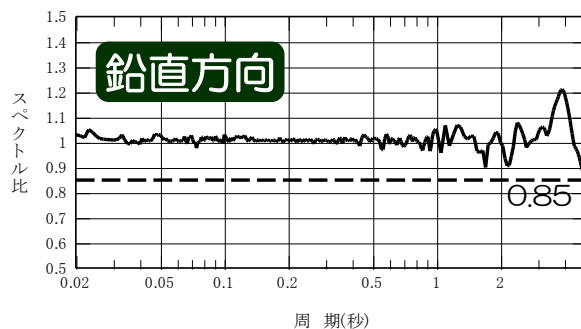
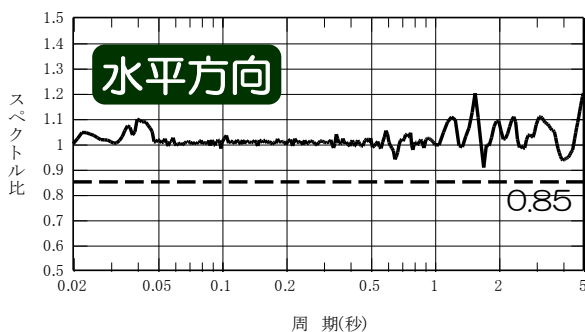
# 模擬地震波の作成 (Ss-1)

- 作成した模擬地震波は、日本電気協会(2008)による、以下の適合度の条件を満足していることを確認。
  - ① 目標とする応答スペクトル値に対する模擬地震波の応答スペクトル値の比が0.85以上
  - ② 応答スペクトル強さの比 (SI比) が1.0以上

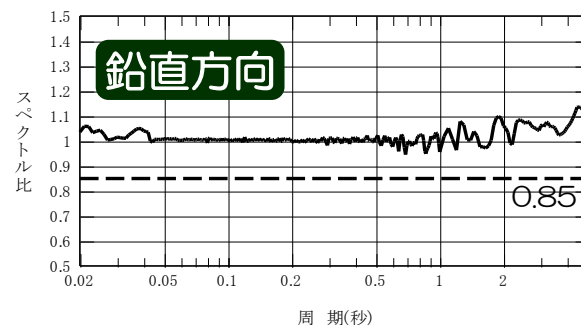
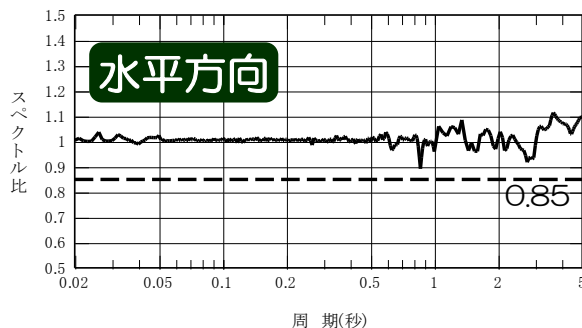
目標とする応答スペクトル値に対する  
模擬地震波の応答スペクトル値の比

応答スペクトル強さの  
比 (SI比)

荒浜側



大湊側



模擬地震波	作成結果	
	最大加速度 (Gal)	SI比
Ss-1H (荒浜側)	2300	1.03
Ss-1V (荒浜側)	1050	1.00
Ss-1H (大湊側)	1050	1.01
Ss-1V (大湊側)	650	1.02

$$SI比 = \frac{\int_{0.1}^{2.5} Sv(T)dt}{\int_{0.1}^{2.5} \bar{S}v(T)dt} : \text{応答スペクトル強さの比}$$

$Sv(T)$  : 模擬地震波の応答スペクトル(cm/s)

$\bar{S}v(T)$  : 目標とする応答スペクトル(cm/s)

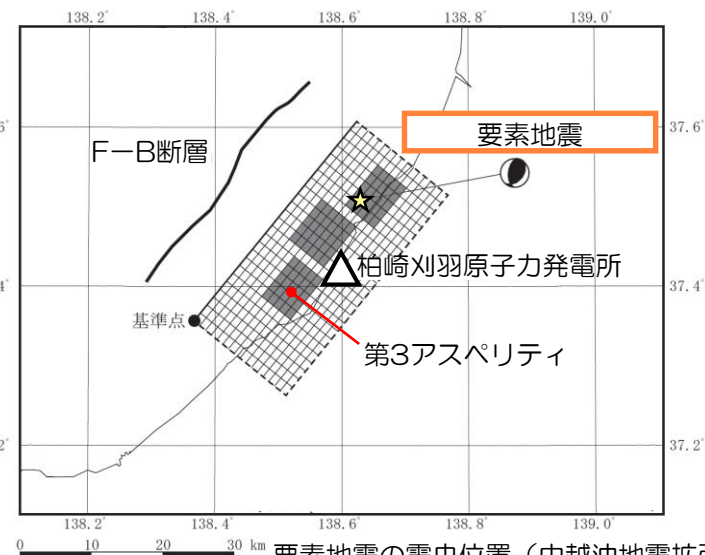
$T$  : 固有周期(s)

1. 地震発生層の設定
2. 検討用地震の選定
  - 2.1 孤立した短い活断層
  - 2.2 副次的な断層
  - 2.3 被害地震の選定
  - 2.4 検討用地震の選定
3. F-B断層による地震の地震動評価
  - 3.1 震源モデルの設定と不確かさの考え方
  - 3.2 応答スペクトルに基づく地震動評価
  - 3.3 断層モデルを用いた手法による地震動評価
  - 3.4 評価の妥当性に関する検討
4. 長岡平野西縁断層帯による地震の地震動評価
  - 4.1 震源モデルの設定と不確かさの考え方
  - 4.2 応答スペクトルに基づく地震動評価
  - 4.3 断層モデルを用いた手法による地震動評価
  - 4.4 評価の妥当性に関する検討
5. 基準地震動の策定
6. 佐渡島南方～魚津断層帯による地震の地震動評価



# 評価手法と要素地震

- 想定した震源域で発生した中小地震を要素地震として経験的グリーン関数法で評価することにより、地震波の伝播特性を適切に反映する。
- 経験的グリーン関数法に用いる要素地震は、想定する地震の震源域で発生した中越沖地震の余震を採用。
- なお、荒浜側の評価において、強震動予測レシピモデルの南西側アスペリティ及び中越沖地震拡張モデルの第3アスペリティに用いる要素地震は、中越沖地震における第3アスペリティの特性を踏まえて設定した補正波とする。

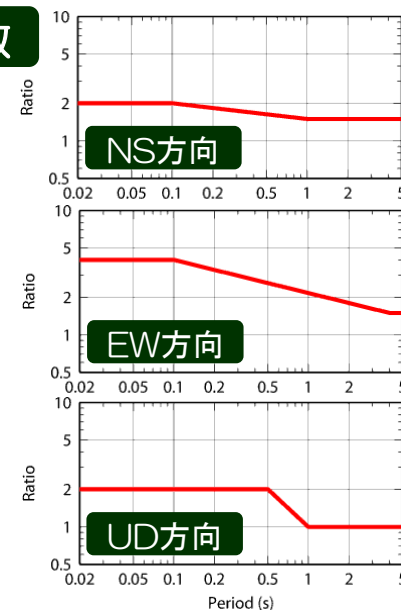


要素地震の震央位置（中越沖地震拡張モデルの断層モデル図にプロット）

## 要素地震の震源パラメータ

発生日時	2007/7/16 21:08		備考
マグニチュード	$M_j$	4.4	気象庁
	$M_w$	4.4	F-net
震源位置	東経(°)	138.63	気象庁
	北緯(°)	37.51	気象庁
震源深さ(km)	13.6	余震分布を踏まえ設定	
走向(°)	187; 39	F-net	
傾斜(°)	54; 41	F-net	
すべり角(°)	70; 115	F-net	
地震モーメント(N·m)	$5.21 \times 10^{15}$	F-net	
コーナー周波数(Hz)	1.65	Brune(1970)式	
実効応力(MPa)	4.6	芝(2008)	
Q値	$76 f^{0.74}$	岩田ほか(2005)	

## 補正係数

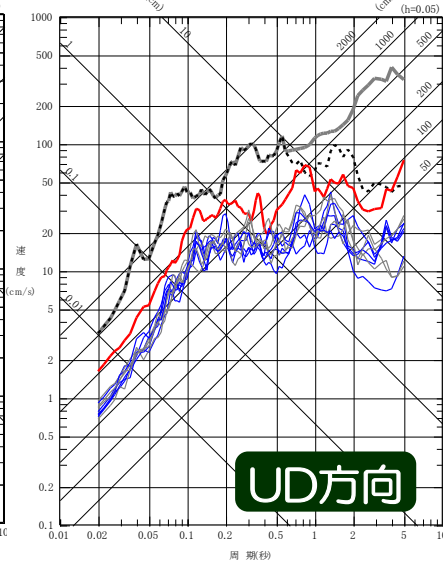
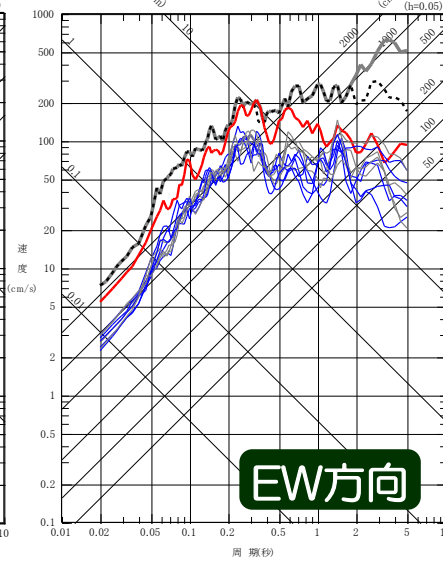
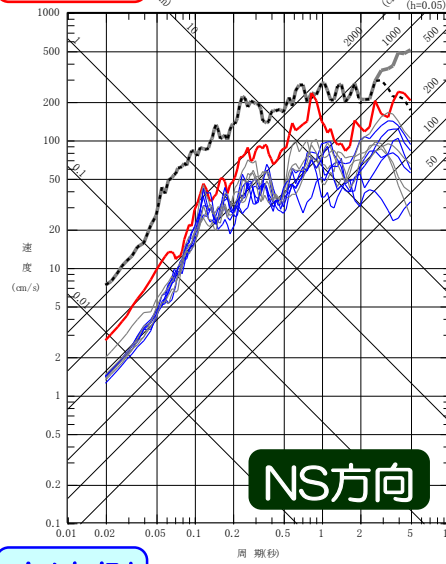


# F-B断層による地震 No.1 強震動予測レシピモデル

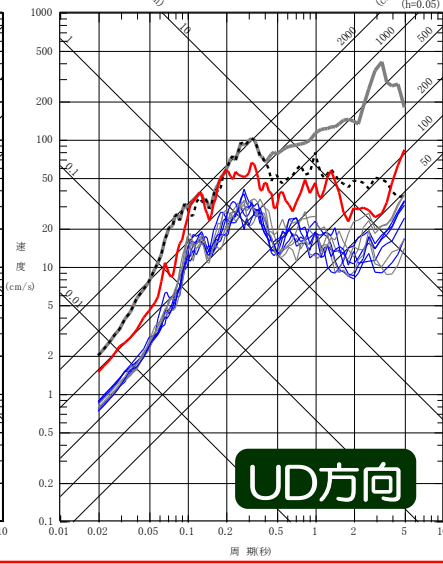
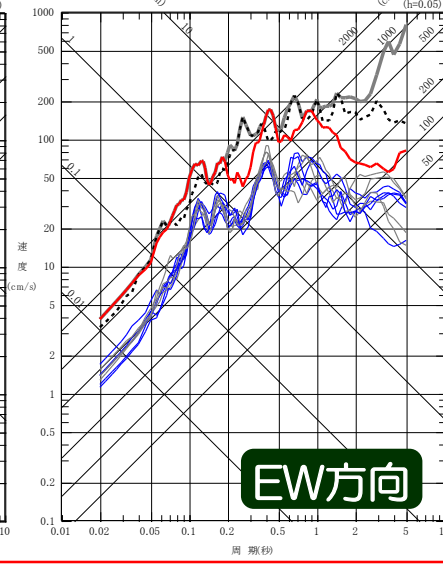
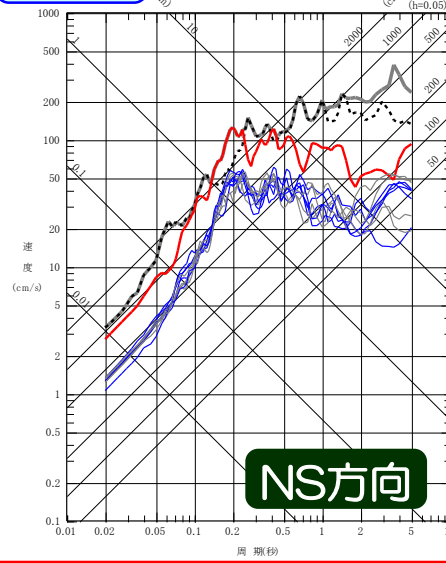
## 評価結果 擬似速度応答スペクトル

- 強震動予測レシピモデルの地震動評価結果は、基準地震動Ssの包絡スペクトル※を下回ることを確認。
- また、破壊開始点の影響は、P/Aパリティ両下端を評価することで概ね把握可能であることを確認。

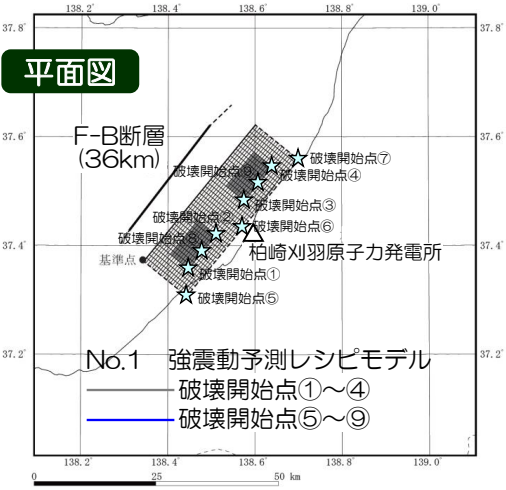
### 荒浜側



### 大湊側



### 平面図



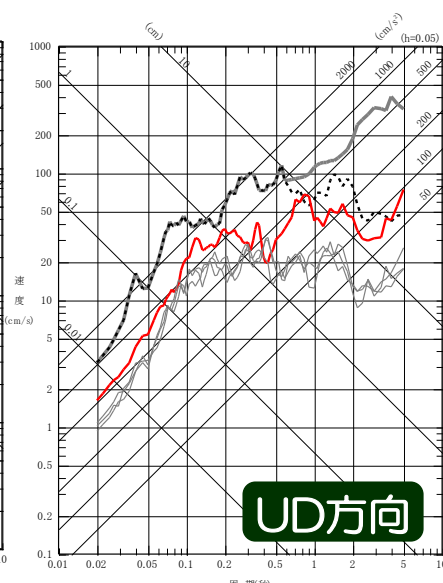
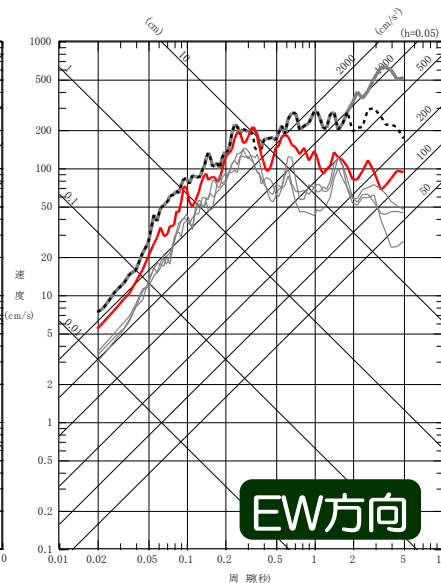
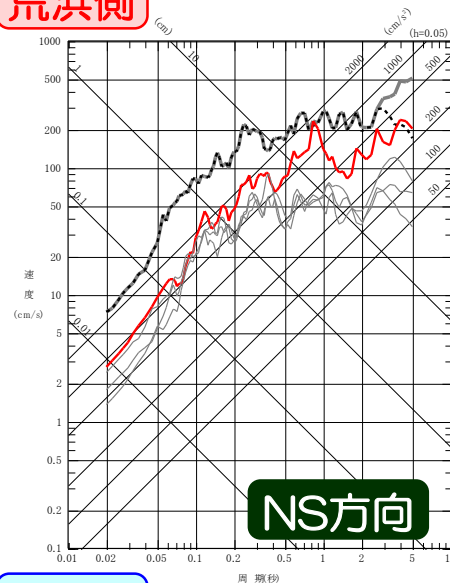
- F-B断層による地震 応答スペクトルに基づく地震動評価結果 Ss-1
- F-B断層による地震 断層モデルを用いた手法による地震動評価：中越沖地震拡張モデル Ss-2
- 基準地震動Ssの包絡スペクトル※

※基準地震動Ssの包絡スペクトル：基準地震動Ss-1～Ss-7(P215,216)の各周期の最大値をとった応答スペクトル

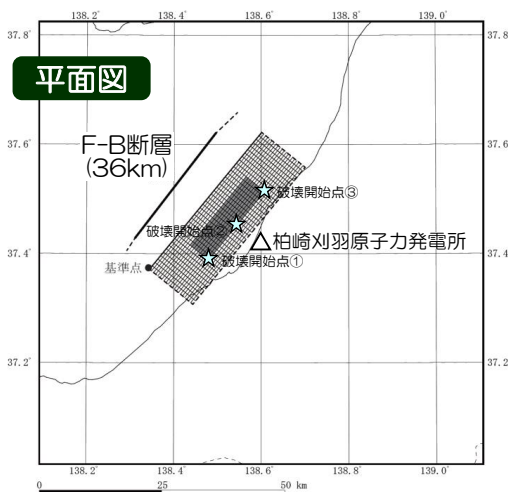
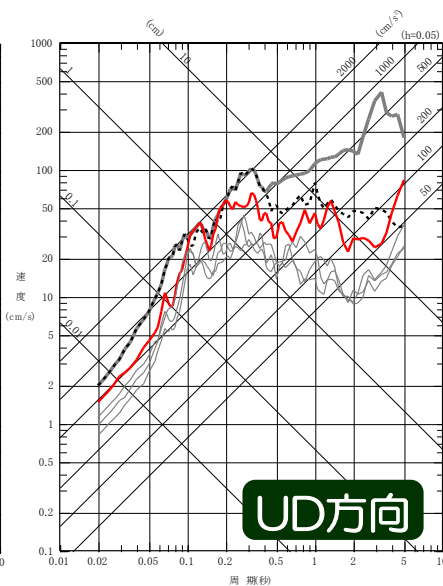
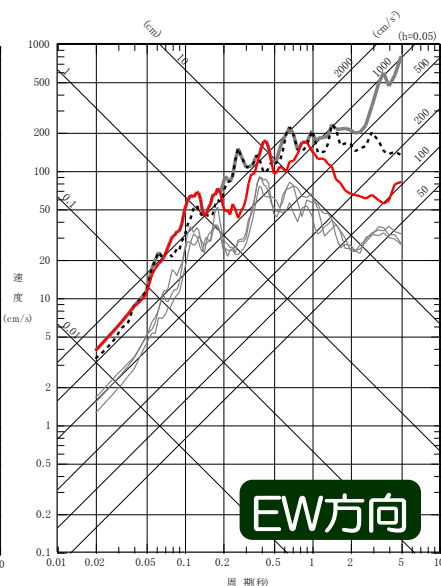
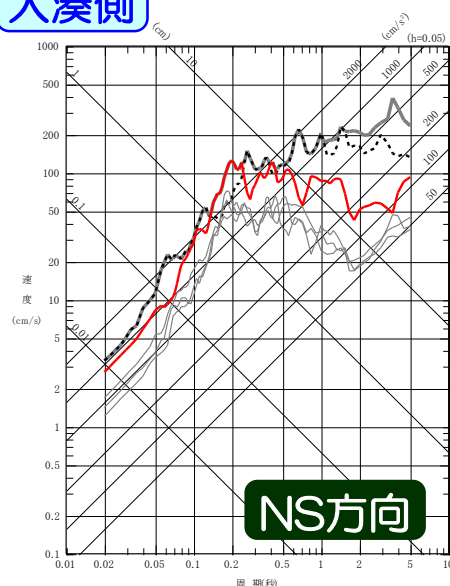
# F-B断層による地震 No.2 強震動予測レシピアモデルアスペリティ位置の不確かさ考慮 評価結果 擬似速度応答スペクトル

■ 強震動予測レシピアモデルにおいて、アスペリティ位置の不確かさを考慮した地震動評価結果は、基準地震動Ssの包絡スペクトルを下回ることを確認。

荒浜側



大湊側

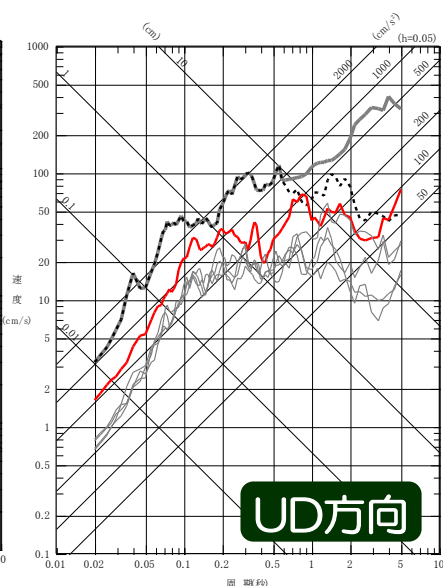
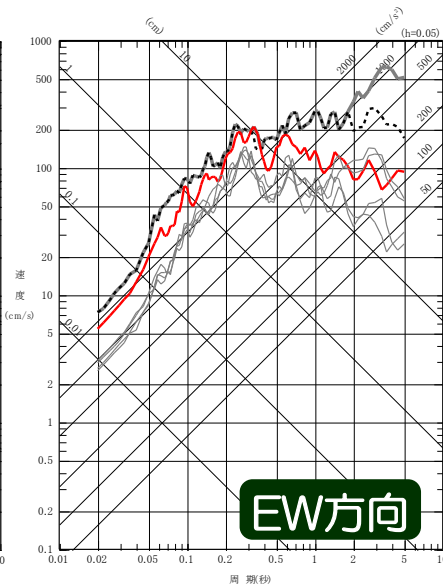
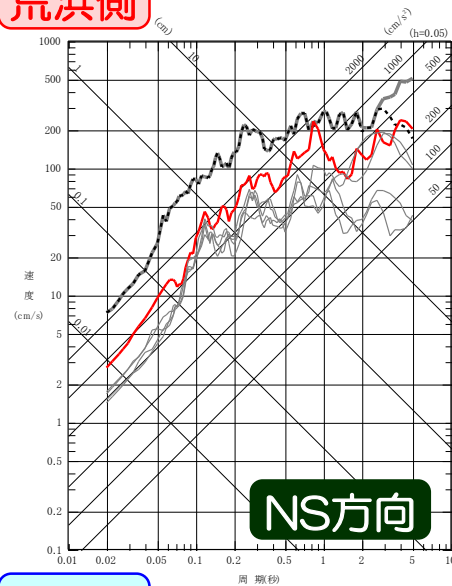


- No.2 強震動予測レシピアモデル (アスペリティ位置の不確かさ考慮) 破壊開始点①~③
- - - F-B断層による地震 応答スペクトルに基づく地震動評価結果 Ss-1
- F-B断層による地震 断層モデルを用いた手法による地震動評価：中越沖地震拡張モデル Ss-2
- 基準地震動Ssの包絡スペクトル

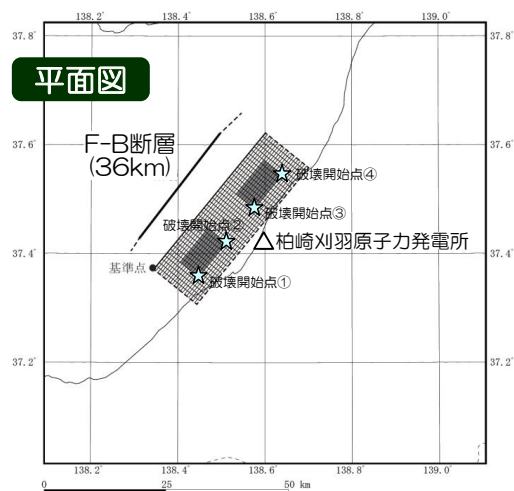
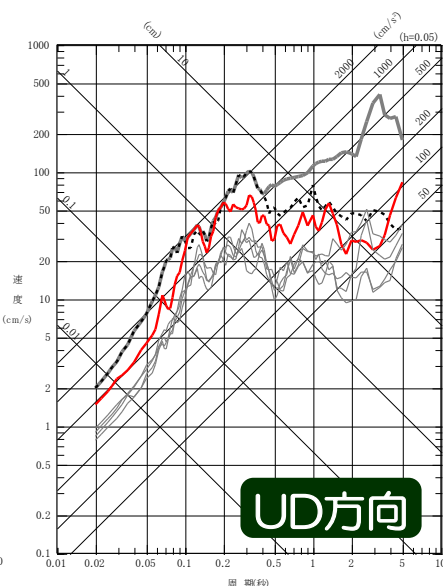
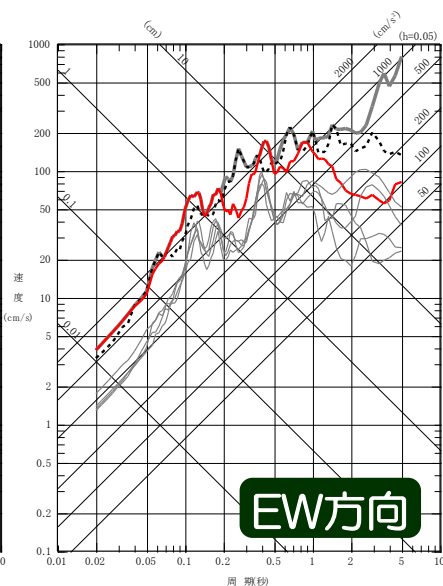
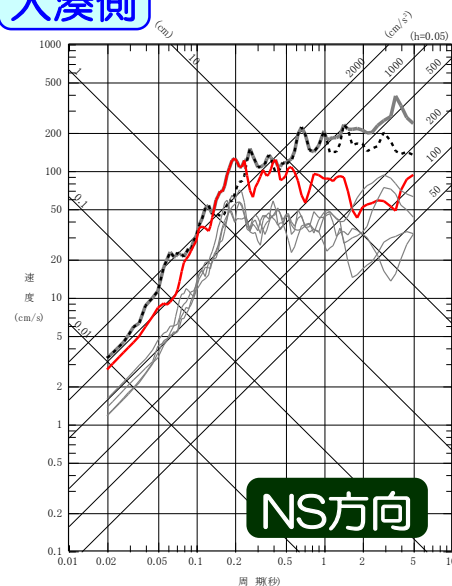
# F-B断層による地震 No.3 強震動予測レシピモデル 破壊伝播速度の不確かさ考慮 評価結果 擬似速度応答スペクトル

■ 強震動予測レシピモデルにおいて、破壊伝播速度の不確かさを考慮した地震動評価結果は、基準地震動Ssの包絡スペクトルを下回ることを確認。

荒浜側



大湊側

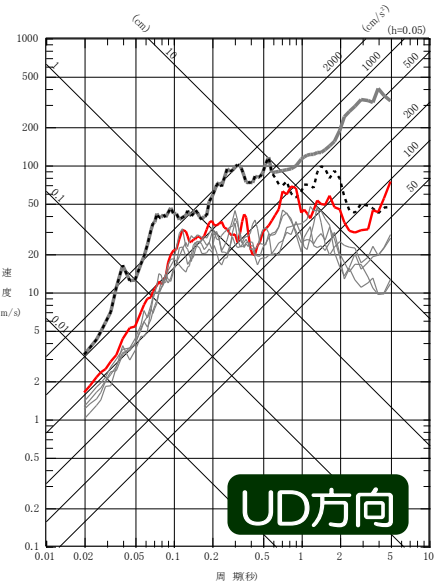
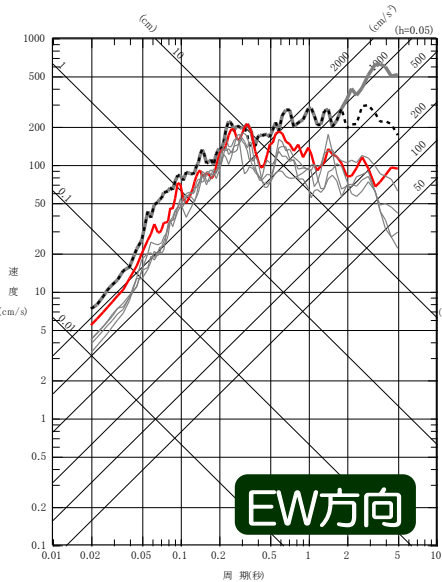
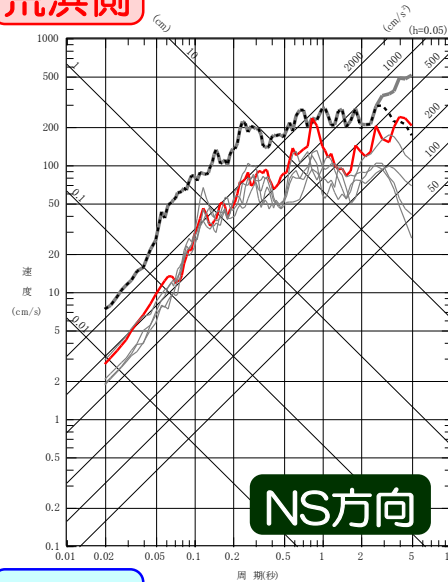


- No.3 強震動予測レシピモデル (破壊伝播速度の不確かさ考慮) 破壊開始点①~④
- - - F-B断層による地震 応答スペクトルに基づく地震動評価結果 Ss-1
- F-B断層による地震 断層モデルを用いた手法による地震動評価：中越沖地震拡張モデル Ss-2
- 基準地震動Ssの包絡スペクトル

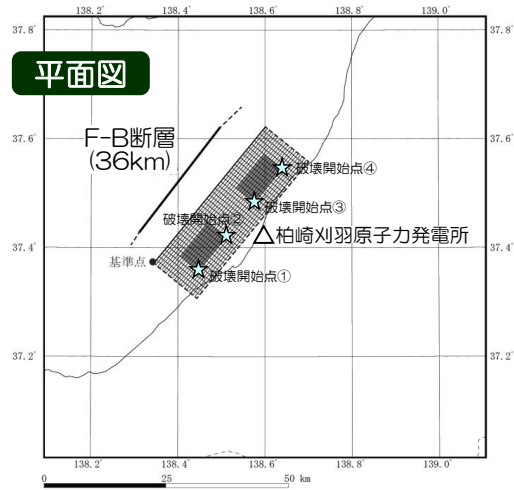
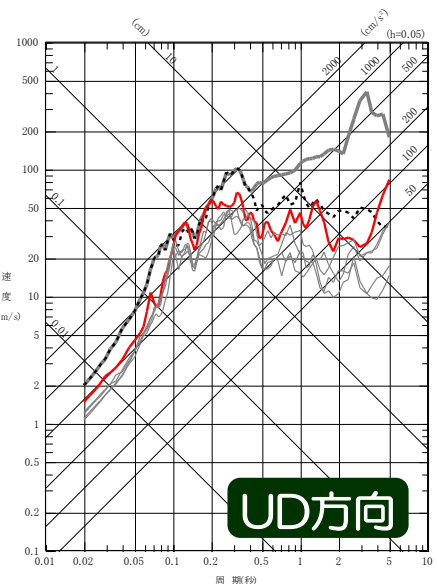
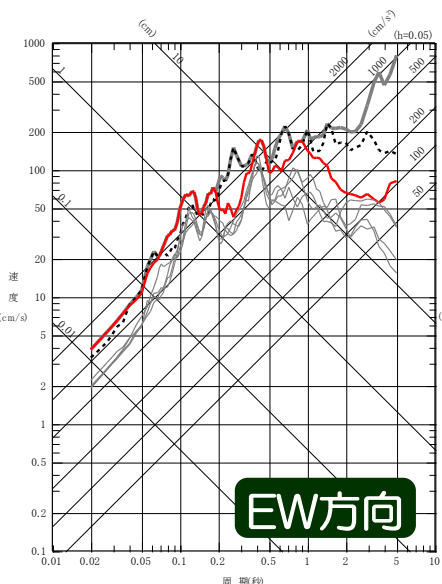
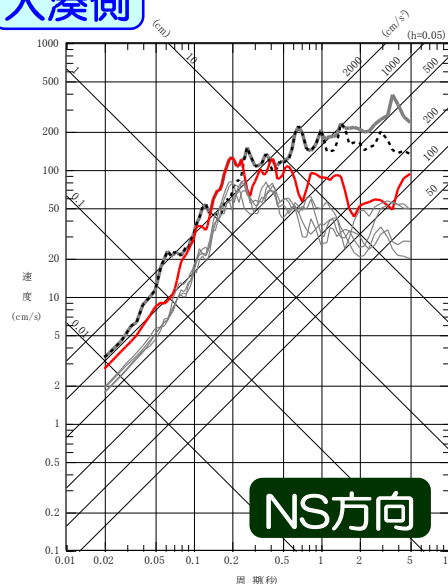
# F-B断層による地震 No.4 強震動予測レシピモデル 応力降下量の不確かさ考慮 評価結果 擬似速度応答スペクトル

■ 強震動予測レシピモデルにおいて、応力降下量の不確かさを考慮した地震動評価結果は、基準地震動Ssの包絡スペクトルを下回ることを確認。

荒浜側



大湊側

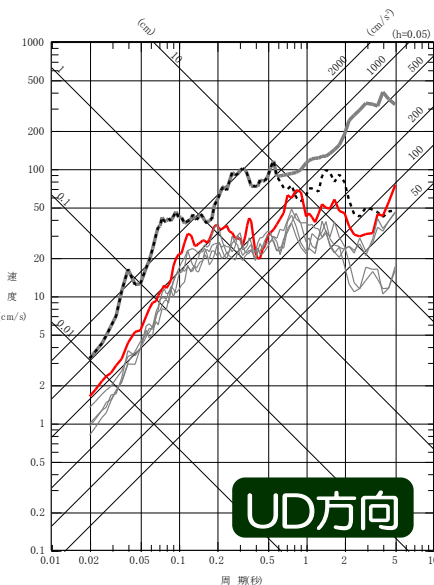
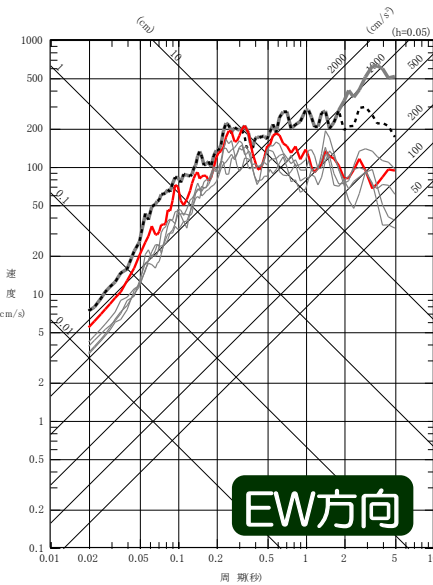
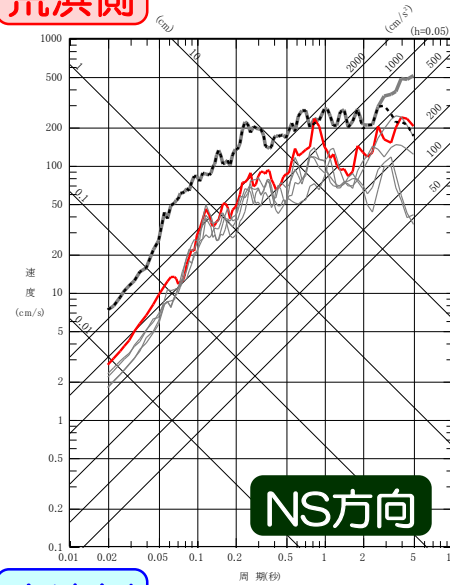


- No.4 強震動予測レシピモデル (応力降下量の不確かさ考慮) 破壊開始点①~④
- - - F-B断層による地震 応答スペクトルに基づく地震動評価結果 Ss-1
- F-B断層による地震 断層モデルを用いた手法による地震動評価：中越沖地震拡張モデル Ss-2
- 基準地震動Ssの包絡スペクトル

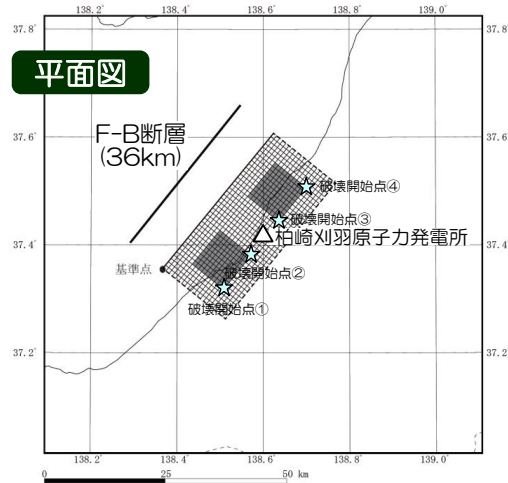
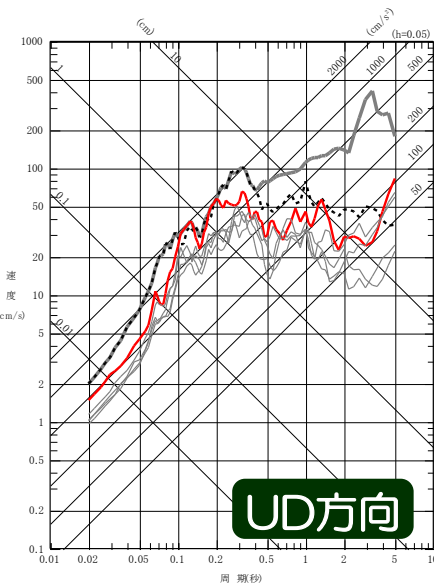
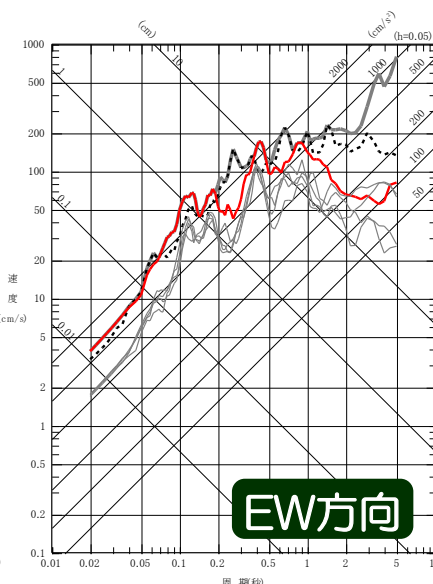
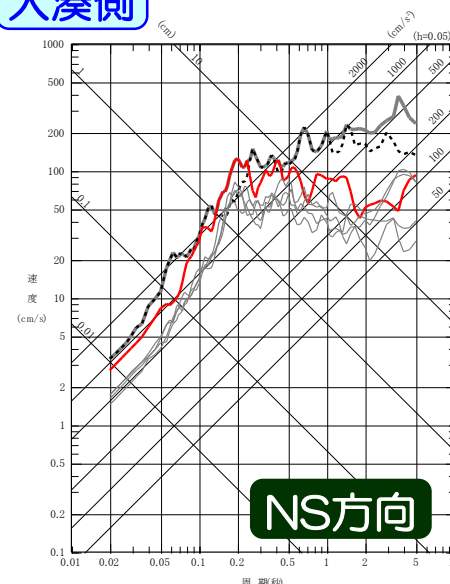
# F-B断層による地震 No.5 強震動予測レシピモデル 断層傾斜角の不確かさ考慮 評価結果 擬似速度応答スペクトル

■ 強震動予測レシピモデルにおいて、断層傾斜角の不確かさを考慮した地震動評価結果は、基準地震動Ssの包絡スペクトルを下回ることを確認。

荒浜側



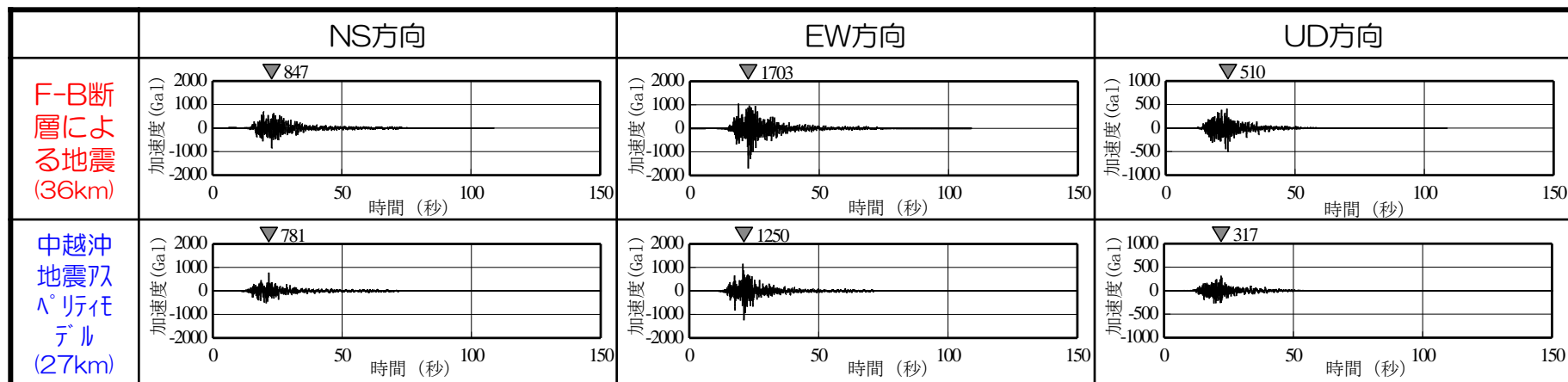
大湊側



- No.5 強震動予測レシピモデル (断層傾斜角の不確かさ考慮) 破壊開始点①~④
- - - F-B断層による地震 応答スペクトルに基づく地震動評価結果 Ss-1
- F-B断層による地震 断層モデルを用いた手法による地震動評価：中越沖地震拡張モデル Ss-2
- 基準地震動Ssの包絡スペクトル

# F-B断層による地震 No.6 中越沖地震拡張モデル

## 評価結果 荒浜側



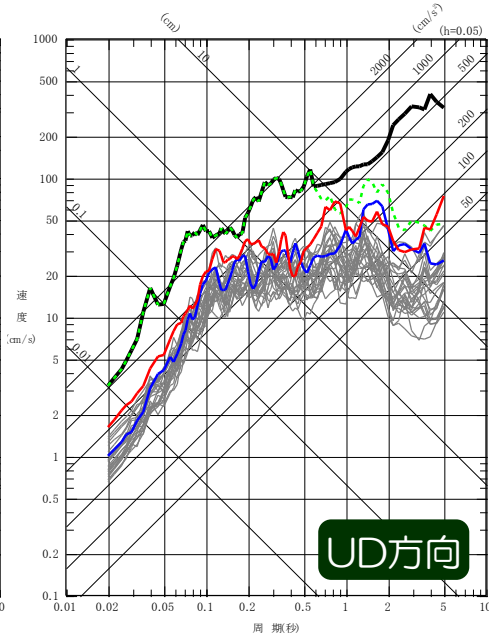
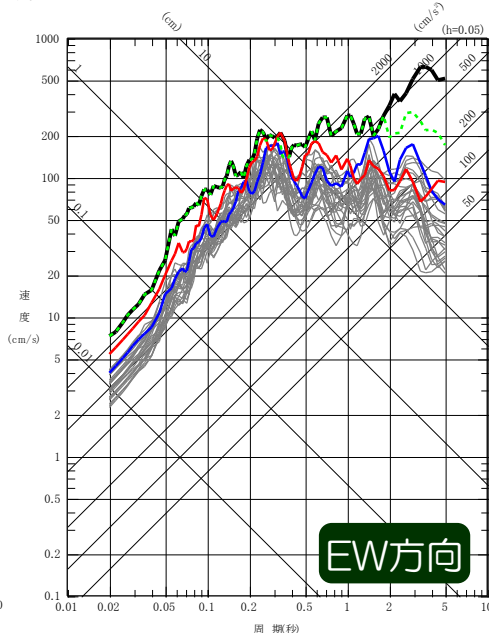
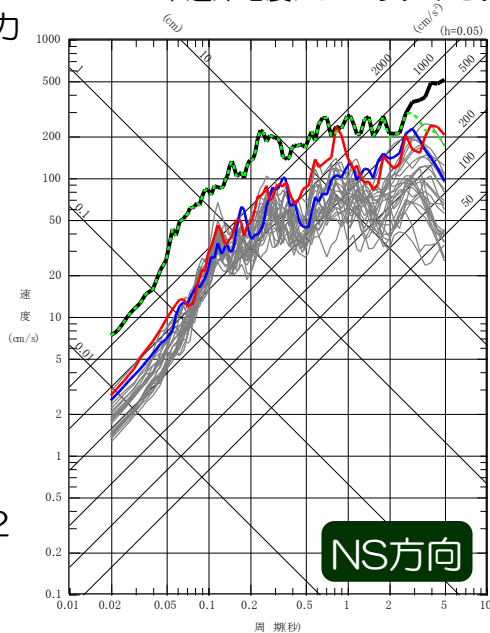
敷地から南西側・北西側の両方のアスペリティに強震動予測レシピから設定される値の1.5倍の応力降下量を考慮した強震動予測レシピモデルの地震動評価結果と比較して、中越沖地震拡張モデルの評価結果が保守的であることを確認。



F-B断層による地震の断層モデルによる評価のうち中越沖地震拡張モデルの結果を基準地震動Ss-2として策定

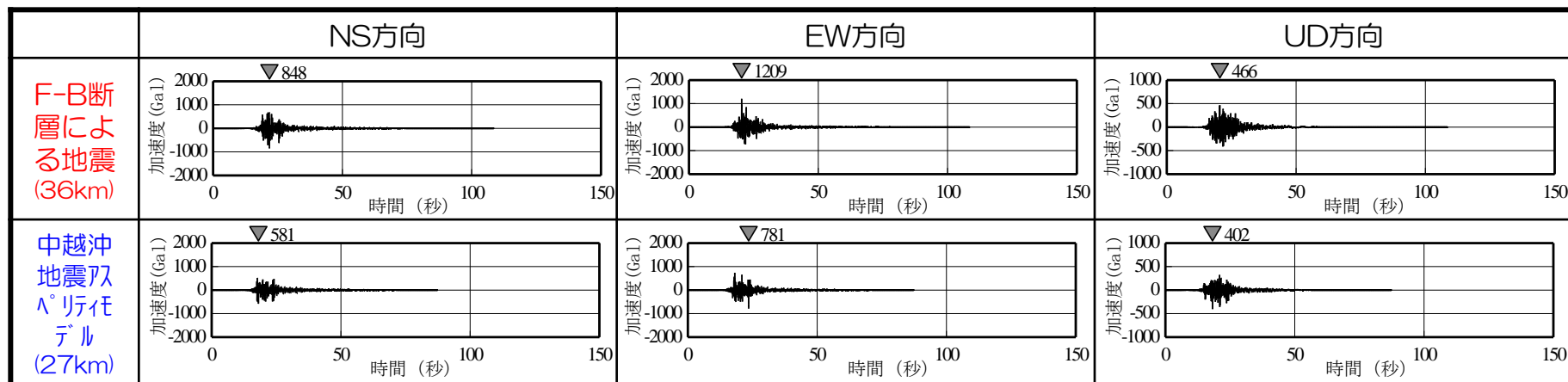
断層モデルを用いた手法による地震動評価

- F-B断層による地震 中越沖地震拡張モデル
- F-B断層による地震 強震動予測レシピモデル
- 中越沖地震アスペリティモデル
- - - F-B断層による地震 応答スペクトルに基づく評価
- 【参考】基準地震動Ssの包絡スペクトル



# F-B断層による地震 No.6 中越沖地震拡張モデル

## 評価結果 大湊側



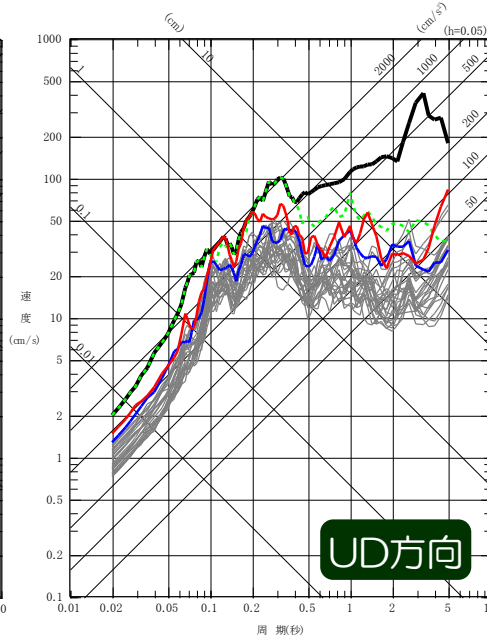
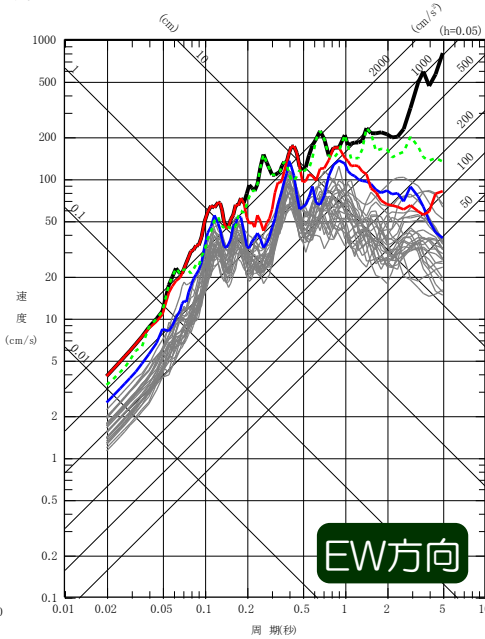
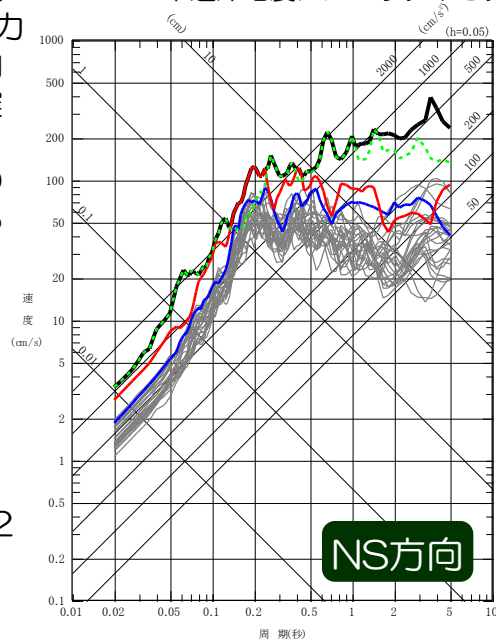
敷地から南西側・北西側の両方のアスペリティに強震動予測レシピから設定される値の1.5倍の応力降下量を考慮した強震動予測レシピモデルの地震動評価結果と比較して、中越沖地震拡張モデルの評価結果が保守的であることを確認。



F-B断層による地震の断層モデルによる評価のうち中越沖地震拡張モデルの結果を基準地震動Ss-2として策定

断層モデルを用いた手法による地震動評価

- F-B断層による地震 中越沖地震拡張モデル
- F-B断層による地震 強震動予測レシピモデル
- 中越沖地震アスペリティモデル
- - - F-B断層による地震 応答スペクトルに基づく評価
- 【参考】基準地震動Ssの包絡スペクトル





1. 地震発生層の設定
2. 検討用地震の選定
  - 2.1 孤立した短い活断層
  - 2.2 副次的な断層
  - 2.3 被害地震の選定
  - 2.4 検討用地震の選定
3. F-B断層による地震の地震動評価
  - 3.1 震源モデルの設定と不確かさの考え方
  - 3.2 応答スペクトルに基づく地震動評価
  - 3.3 断層モデルを用いた手法による地震動評価
  - 3.4 評価の妥当性に関する検討
4. 長岡平野西縁断層帯による地震の地震動評価
  - 4.1 震源モデルの設定と不確かさの考え方
  - 4.2 応答スペクトルに基づく地震動評価
  - 4.3 断層モデルを用いた手法による地震動評価
  - 4.4 評価の妥当性に関する検討
5. 基準地震動の策定
6. 佐渡島南方～魚津断層帯による地震の地震動評価

# 評価の妥当性に関する検討

■ 評価の妥当性を確認する目的で、中越沖地震アスペリティモデルを用いたシミュレーション解析等、以下の検討を実施。

- ①第3アスペリティに割り当てる要素地震の補正係数に関する検討
- ②第3アスペリティ位置付近の地震発生状況の整理及び要素地震として採用した場合のシミュレーション解析
- ③地震動レベルの確認を目的とした統計的グリーン関数法によるシミュレーション解析
- ④まとめ

# 評価の妥当性に関する検討

- ①第3アスペリティに割り当てる要素地震の補正係数に関する検討
- ②第3アスペリティ位置付近の地震発生状況の整理及び要素地震として採用した場合のシミュレーション解析
- ③地震動レベルの確認を目的とした統計的グリーン関数法によるシミュレーション解析
- ④まとめ

# ①第3アスペリティの補正係数

■ 第3アスペリティに適用する補正係数について解釈を加えるための検討を実施。

■ 荒浜側（1号機）における第1アスペリティ部で起きる地震によるサイト特性（ $1K1$ ）に対する第3アスペリティ部で起きる地震によるサイト特性（ $3K1$ ）の比を補正係数(1)式として仮定。

$$\frac{3K1}{1K1} = \frac{3K1}{3K5} \times \frac{3K5}{1K1} \quad \dots (1) \text{式}$$

ここで、左添え字はアスペリティ番号  
K5は大湊側（5号機）を示す。

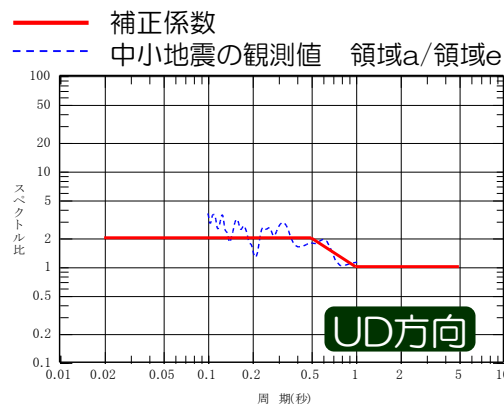
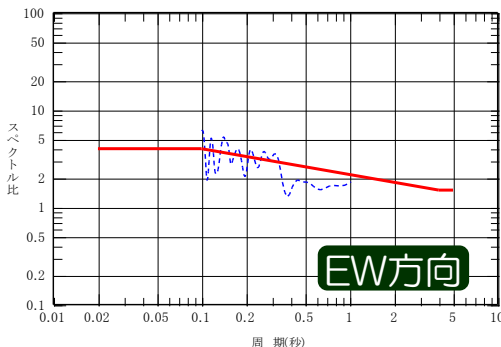
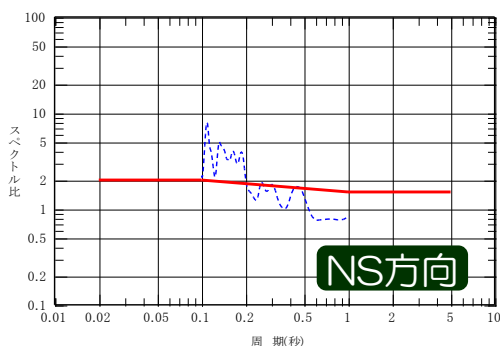
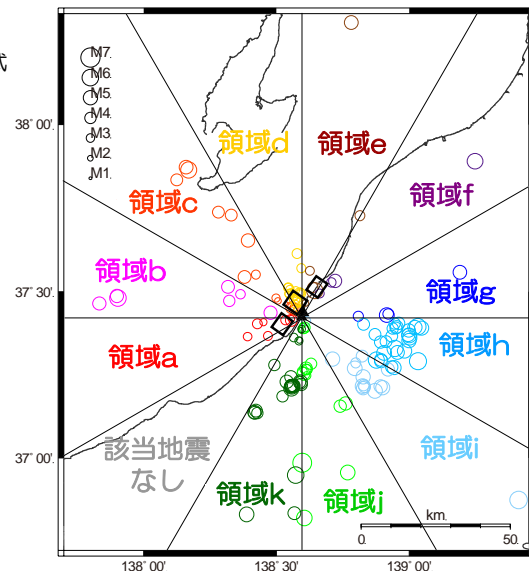
■ 大湊側（5号機）では、到来方向による伝播特性の差異が小さいことから  $3K5 \div 1K5$  と考え(1)式は(2)式となる。

$$\frac{3K1}{1K1} = \frac{3K1}{3K5} \times \frac{1K5}{1K1} \quad \dots (2) \text{式}$$

■ 第1アスペリティ部，第3アスペリティ部のそれぞれの方位（領域e，領域a）から到来する中小地震の観測記録を用い，(2)式を(3)式に変形したうえで観測値を算定し，補正係数との対応を確認。

$$\frac{3K1}{1K1} = \frac{\text{領域a}}{\text{領域e}} \frac{K1/K5}{K1/K5} \quad \dots (3) \text{式}$$

※フーリエスペクトル振幅比により算定



補正係数と中小地震の観測記録から求めた観測値（領域a/領域e）の比較

■ 中小地震による観測値と補正係数は，同様の周期特性を示すことから，補正係数の主たる物理的な意味合いとしては，荒浜側における第1アスペリティ部で起きる地震によるサイト特性に対する第3アスペリティ部で起きる地震によるサイト特性の比と考えられる。

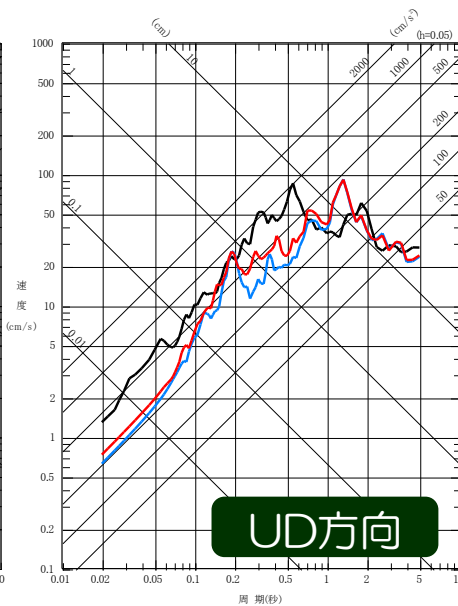
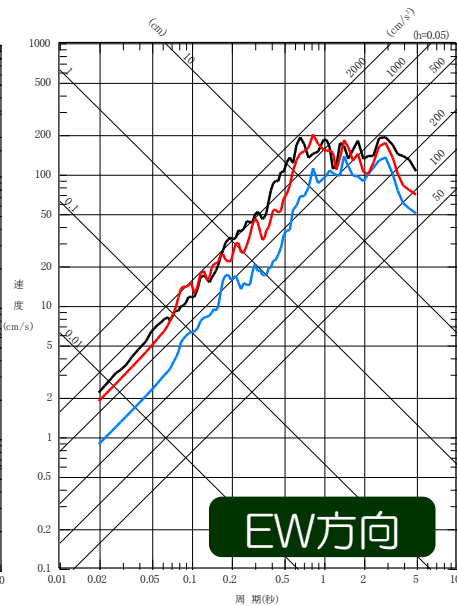
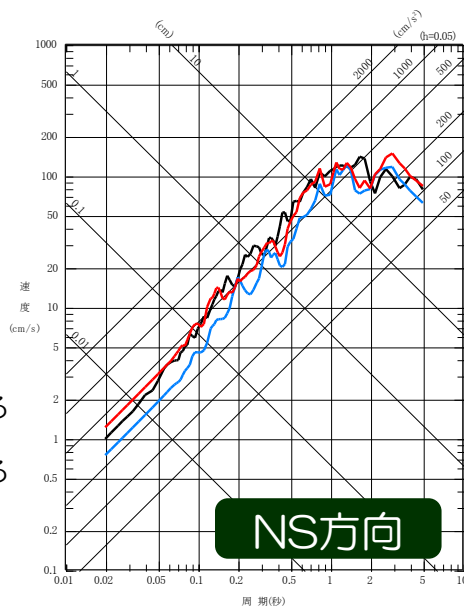
# ①第3アスペリティの補正係数

■ 原子炉建屋基礎版上を評価点として、中越沖地震アスペリティモデルによるシミュレーション解析を実施。

## 1号機

基礎上

- 観測記録
- 断層モデルによる評価 (補正なし)
- 断層モデルによる評価 (補正あり)

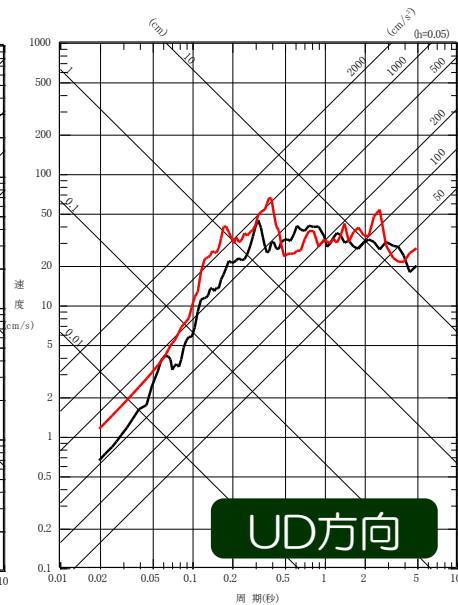
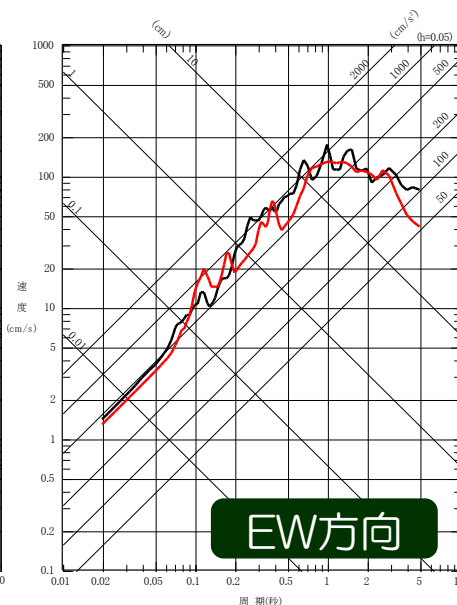
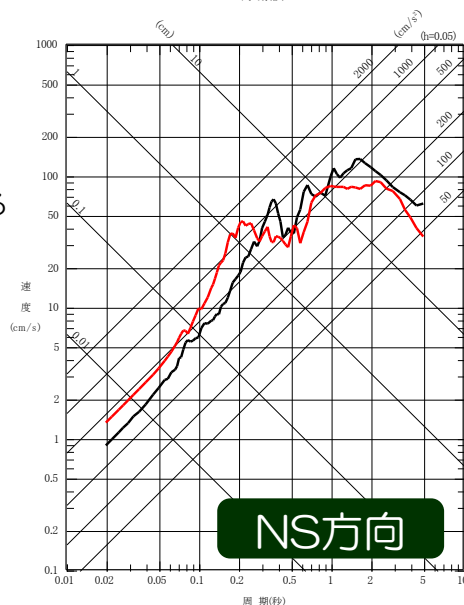


## 5号機

- 観測記録
- 断層モデルによる評価

■ 補正係数を考慮することにより、1号機側の記録の再現性が向上することを確認。

■ ただし、UD方向の周期0.5秒付近で再現性が低い傾向にある。

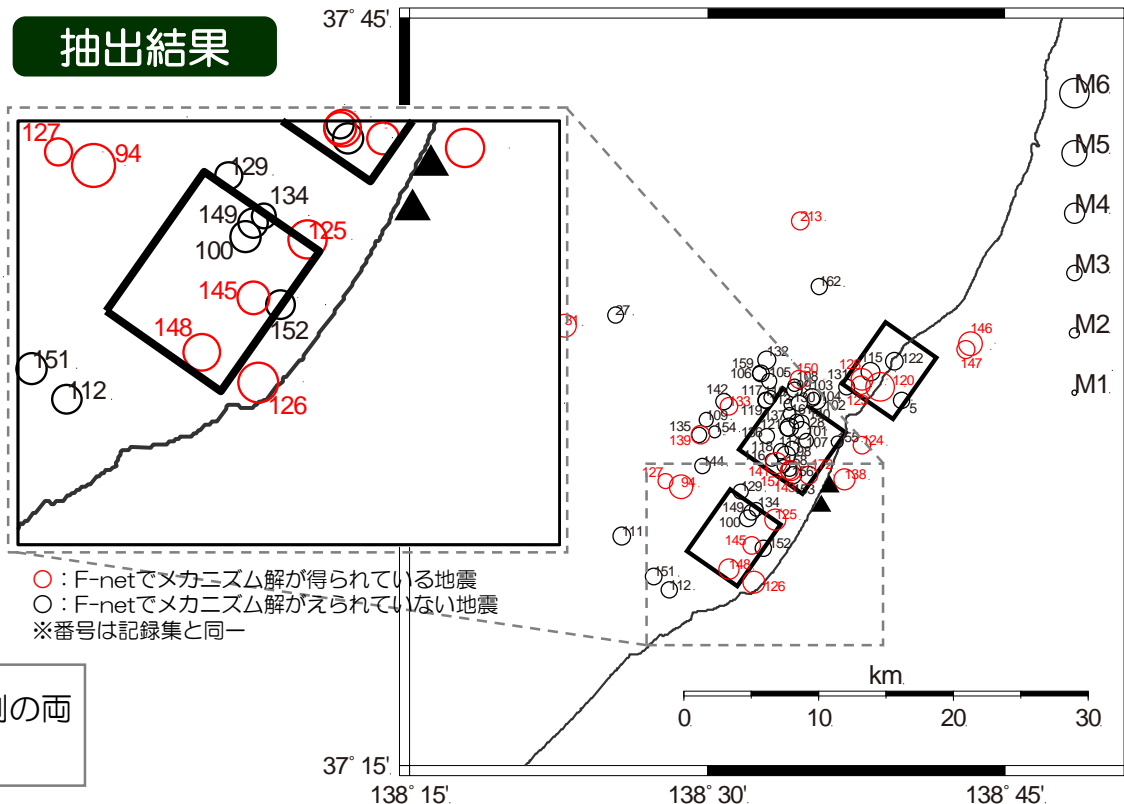


# 評価の妥当性に関する検討

- ①第3アスペリティに割り当てる要素地震の補正係数に関する検討
- ②第3アスペリティ位置付近の地震発生状況の整理及び要素地震として採用した場合のシミュレーション解析
- ③地震動レベルの確認を目的とした統計的グリーン関数法によるシミュレーション解析
- ④まとめ

## ②第3アスペリティ位置付近の地震発生状況

- F-B断層周辺における地震の発生状況を整理し、要素地震となりうる地震の観測記録の有無を確認。
- 原子炉建屋基礎版上において、荒浜側・大湊側の両方で観測記録が得られており、第3アスペリティ位置付近で発生している地震は9地震
- そのうち、周辺のKiK-net観測点で記録が得られている地震は6地震
- さらに、F-netでメカニズム解が得られている地震は4地震と、候補が限られることを確認。



### 抽出フロー

①原子炉建屋基礎版上において荒浜側・大湊側の両方で記録を取得。

②F-B断層の第3アスペリティ位置付近で発生。

③要素地震の見積もりを適切に行うために複数のKiK-net観測点で記録を取得。

④F-netにおいてメカニズム解が得られている。

No.	発生日時	地震規模	KiK-net 取得観測点数	F-net メカニズム解
100	2007/7/16 11:47	3.4	-	-
125	2007/7/16 17:42	4.2	29	○
126	2007/7/16 18:19	4.4	5	○
129	2007/7/17 00:34	3.0	-	-
134	2007/7/10 10:36	2.7	-	-
145	2007/7/24 15:51	3.5	14	○
148	2007/8/3 11:01	4.1	33	○
149	2007/8/4 00:16	3.2	8	-
152	2007/8/10 02:04	3.2	8	-

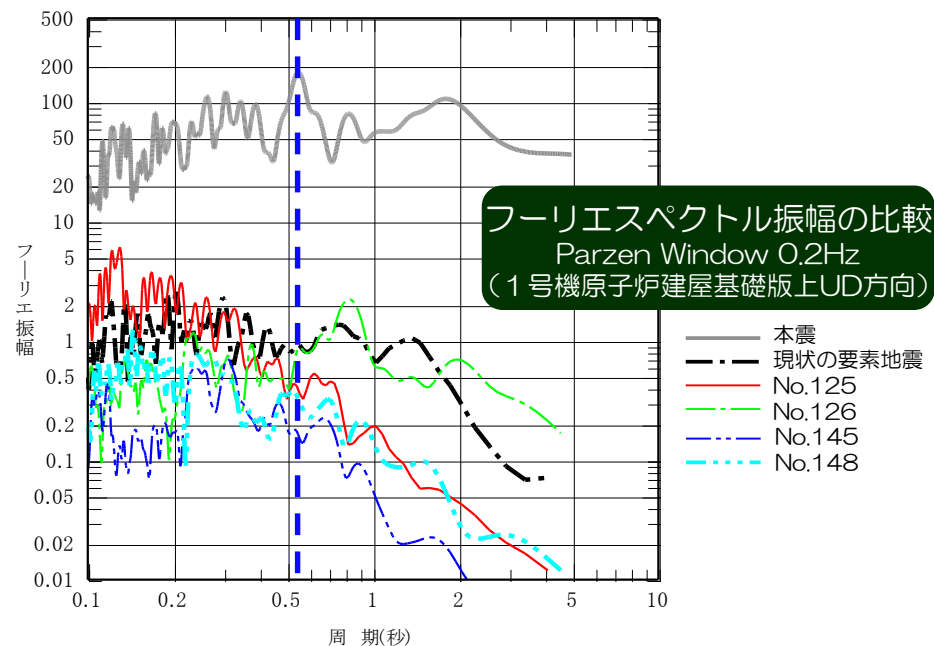
## ②第3アスペリティ位置付近の地震発生状況 メカニズム解の確認，UD方向の周期0.5秒の特性

- 要素地震の候補選定にあたり，No.126，No.145，No.148の地震のメカニズム解は，中越沖地震の本震と類似していることを確認。
- 地震規模（M4以上），本震とのメカニズム解の類似性，KiK-netでの記録の取得数などを総合的に判断し，第3アスペリティに割り当てる要素地震の候補としてNo.148の地震を選定。

	125	126	145
年月日	2007/7/16 17:42	2007/7/16 18:19	2007/7/24 15:51
地震規模	4.2	4.4	3.5
KiK観測点	29	5	14
メカニズム解			
No.	148	現状の要素地震 (No.128)	中越沖地震本震
年月日	2007/8/3 11:01	2007/7/16 21:08	2007/7/16 10:13
地震規模	4.1	4.4	6.8
KiK観測点	33	—	—
メカニズム解			

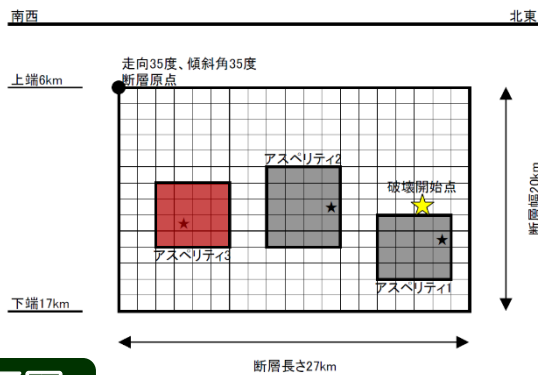
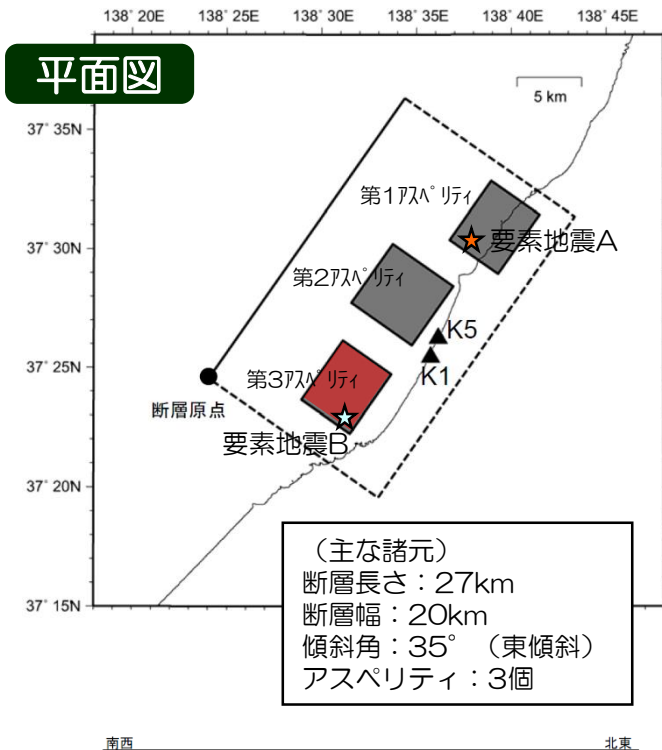
注) メカニズム解はF-netより抜粋

- 第3アスペリティ位置付近で発生している地震のうち抽出した4地震と，中越沖地震の本震，現状採用している要素地震について，1号機原子炉建屋基礎版上で得られているUD方向のフーリエスペクトル振幅を比較。
- UD方向の周期0.5秒付近の卓越は，本震で特に著しいこと，各記録で共通して認められる事象では無いことが確認できる。（したがって，サイト特性が主要因である可能性は低いものと考えられる。）
- なお，No.148では，周期0.5秒付近の卓越が認められるため，補正係数を考慮したケースと比較し，再現性の向上が期待できるものと考えられる。





# ②第3アスペリティ位置付近の地震発生状況 シミュレーション解析



- 第3アスペリティ位置付近で発生した地震の観測記録を要素地震として、中越沖地震アスペリティモデルを用いたシミュレーション解析を実施。
- 第1・2アスペリティに要素地震A（現状の要素地震），第3アスペリティに要素地震B（No.148）を用いた経験的グリーン関数法により評価を実施。
- 評価点は、原子炉建屋基礎版上とし、観測記録と比較。

## 要素地震の震源パラメータ

		要素地震A	要素地震B	備考
発生日時		2007/7/16 21:08	2007/8/3 11:01	気象庁
マグニチュード	M <sub>j</sub>	4.4	4.1	気象庁
	M <sub>w</sub>	4.4	4.0	F-net
震源位置	東経(°)	138.63	138.52	気象庁
	北緯(°)	37.51	37.38	気象庁
震源深さ(km)		13.6	20	気象庁
走向(°)		187:39	59:226	F-net
傾斜(°)		54:41	48:43	F-net
すべり角(°)		70:115	99:80	F-net
地震E-マト(N・m)		5.21×10 <sup>15</sup>	1.05×10 <sup>15</sup>	F-net
コーナー周波数(Hz)		1.65	1.64	Brune(1970)式
実効応力(MPa)		4.6	0.93	設定
Q値		76 f <sup>0.74</sup>	76 f <sup>0.74</sup>	岩田ほか(2005)

# ②第3アスペリティ位置付近の地震発生状況

## 要素地震の見積もり 要素地震A 2007/7/16 21:08 (M<sub>j</sub> 4.4)

- 要素地震の見積もりは、芝(2008)の検討結果をもとに実施しているが、敷地及び周辺KiK-net観測点の記録を用いて、妥当性を再確認する。
- 理論スペクトルと観測記録は概ね整合する傾向にあり、適切に設定されていることが確認できる。

### 理論スペクトルの算定式 (Boore(1983))

加速度フーリエスペクトル振幅 A(f)

$$A(f) = S(f) \cdot P(f) \cdot \sqrt{\frac{\rho\beta}{\rho_s\beta_s}}$$

震源スペクトル S(f)

$$S(f) = \frac{F}{4\pi\rho\beta^3} \cdot M_0 \cdot \frac{(2\pi f)^2}{1+(f/f_c)^2} \cdot \frac{1}{\sqrt{1+(f/f_{max})^{2s}}} \cdot FS$$

伝播特性 P(f)

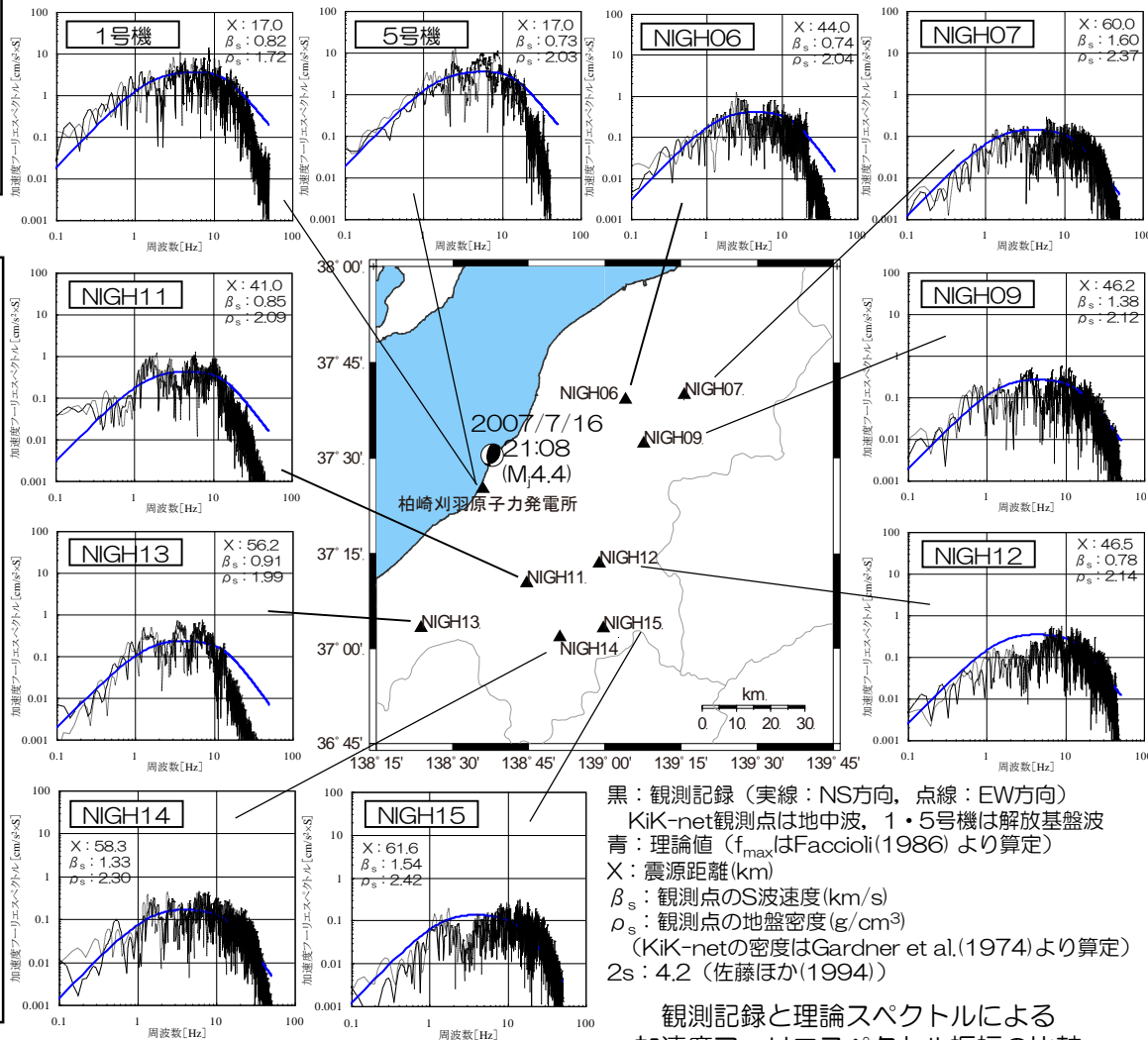
$$P(f) = \frac{\exp\{-\pi f X / (Q\beta)\}}{X}$$

コーナー周波数 f<sub>c</sub>

$$f_c = 4.9 \times 10^6 \beta \left( \frac{\Delta\sigma}{M_0} \right)^{1/3}$$

ここで、 f:周波数 F:放射特性(0.63/√2)  
 FS:自由表面での増幅を表す係数(地表:2, 地中:1)  
 f<sub>max</sub>:高周波遮断周波数 Q:Q値 X:震源距離  
 β:震源におけるS波速度(km/s)と地盤密度  
 β<sub>s</sub>, ρ:観測点におけるS波速度(km/s)と地盤密度  
 Δσ:応力降下量  
 M<sub>0</sub>:地震モーメント(dyne·cm)

芝(2008)により設定されているコーナー周波数を代入して求めた理論スペクトルと観測記録から求めた加速度フーリエスペクトル振幅を比較し適合状況を確認 (M<sub>0</sub>はF-net, Q値は岩田ほか(2005)の値を採用)



観測記録と理論スペクトルによる  
 加速度フーリエスペクトル振幅の比較

# ②第3アスペリティ位置付近の地震発生状況

## 要素地震の見積もり 要素地震B 2007/8/3 11:01 (M<sub>j</sub>4.1)

■ 敷地及び周辺KiK-net観測点の記録を用いて、震源特性の見積を行う。

- M<sub>0</sub> : 1.1 × 10<sup>15</sup> (N・m)
- 応力降下量 : 0.93 (MPa)
- f<sub>max</sub> : 16.7 (Hz)

### 理論スペクトルの算定式 (Boore(1983))

加速度フーリエスペクトル振幅 A(f)

$$A(f) = S(f) \cdot P(f) \cdot \sqrt{\frac{\rho\beta}{\rho_s\beta_s}}$$

震源スペクトル S(f)

$$S(f) = \frac{F}{4\pi\rho\beta^3} \cdot M_0 \cdot \frac{(2\pi f)^2}{1+(f/f_c)^2} \cdot \frac{1}{\sqrt{1+(f/f_{max})^{2s}}} \cdot FS$$

伝播特性 P(f)

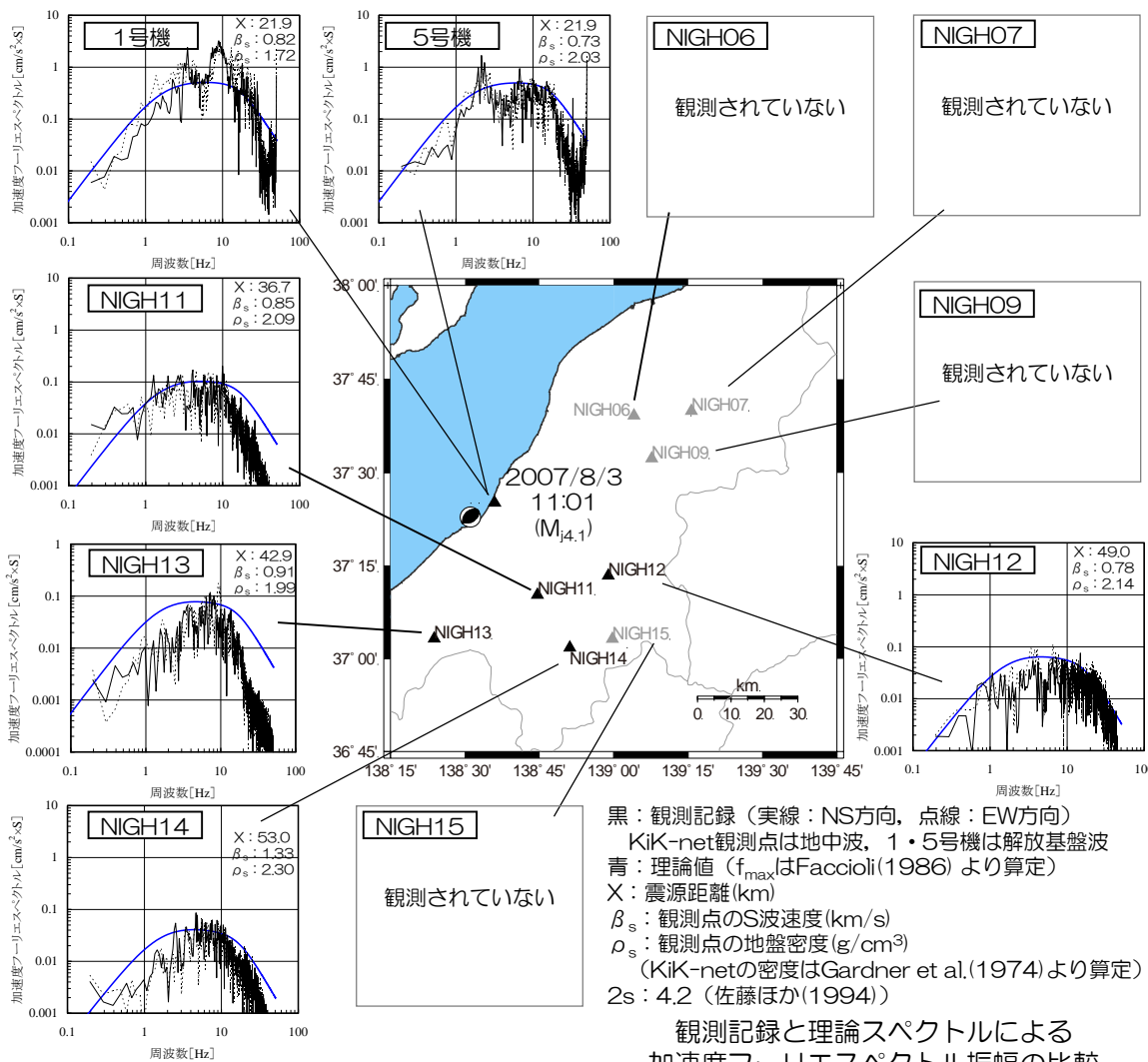
$$P(f) = \frac{\exp\{-\pi f X / (Q\beta)\}}{X}$$

コーナー周波数 f<sub>c</sub>

$$f_c = 4.9 \times 10^6 \beta \left( \frac{\Delta\sigma}{M_0} \right)^{1/3}$$

ここで、 f:周波数 F:放射特性(0.63/√2)  
 FS:自由表面での増幅を表す係数(地表:2, 地中:1)  
 f<sub>max</sub>:高周波遮断周波数 Q:Q値 X:震源距離  
 β, ρ:震源におけるS波速度(km/s)と地盤密度  
 β<sub>s</sub>, ρ<sub>s</sub>:観測点におけるS波速度(km/s)と地盤密度  
 Δσ:応力降下量  
 M<sub>0</sub>:地震モーメント(dyne・cm)

推定したコーナー周波数を代入して求めた理論スペクトルと観測記録から求めた加速度フーリエスペクトル振幅を比較し適合状況を確認。  
 (M<sub>0</sub>はF-net, Q値は岩田ほか(2005)の値を採用)

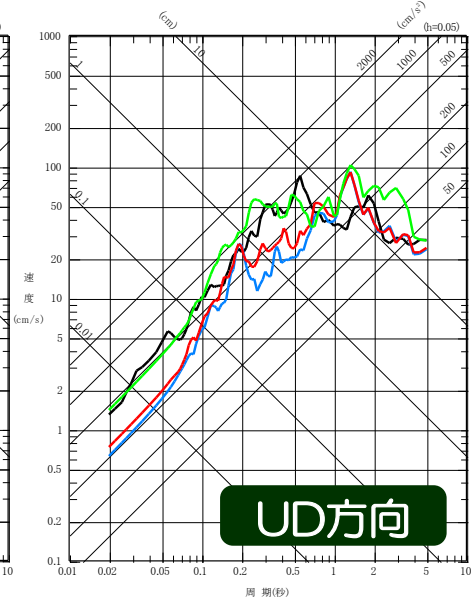
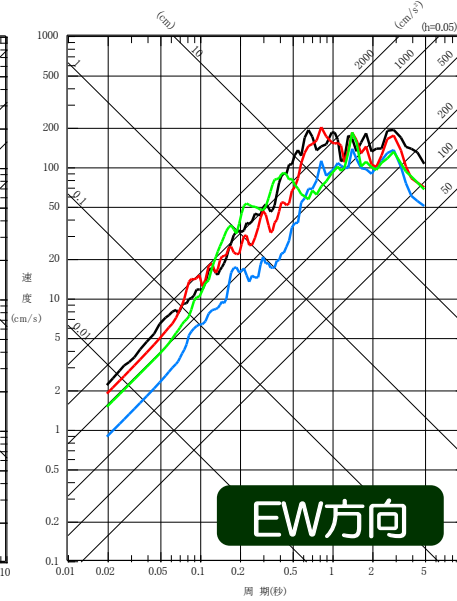
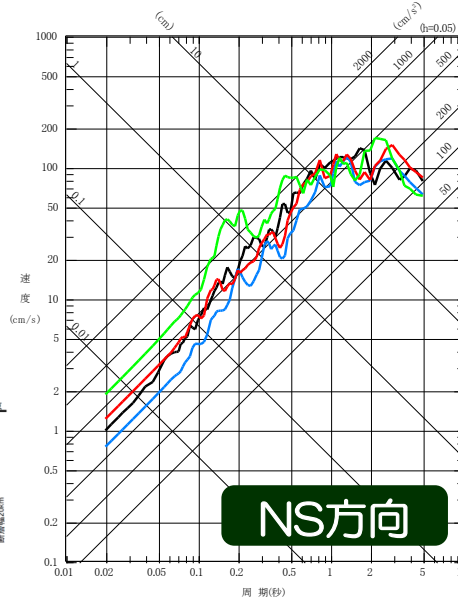
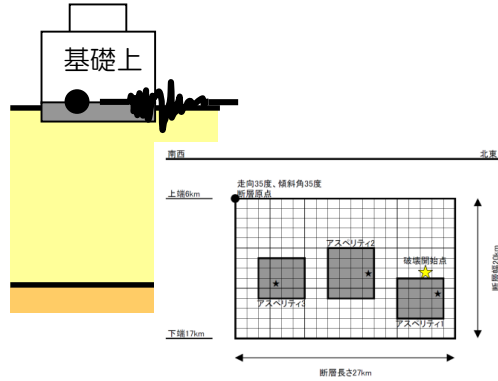


観測記録と理論スペクトルによる  
 加速度フーリエスペクトル振幅の比較

# ②第3アスぺリティ位置付近の地震発生状況 シミュレーション解析結果 擬似速度応答スペクトル

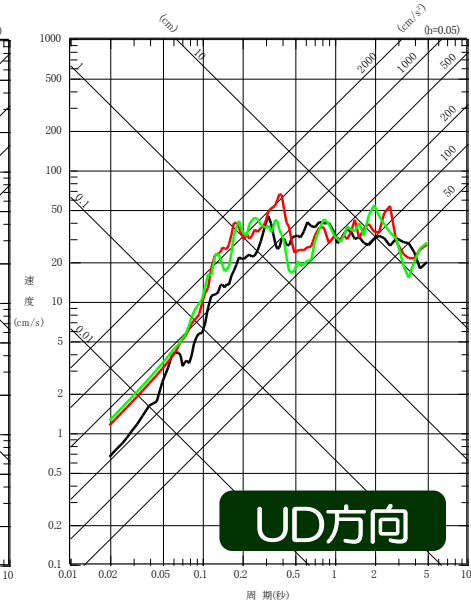
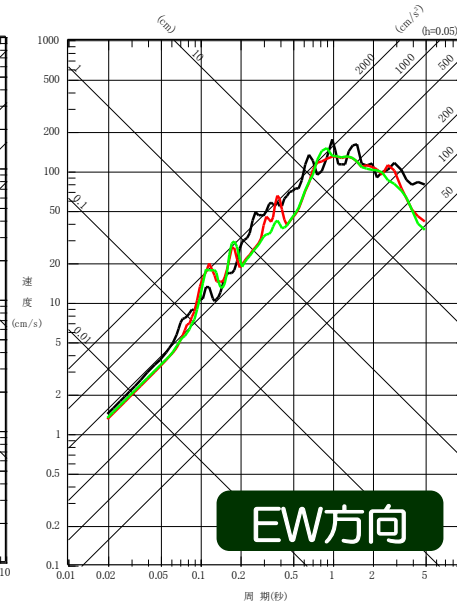
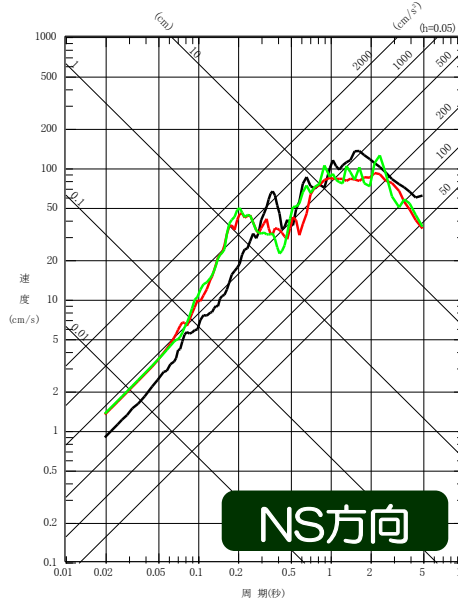
## 1号機

- 観測記録
- 断層モデルによる評価 (補正なし)
- 断層モデルによる評価 (補正あり)
- 断層モデルによる評価 (要素地震変更)



## 5号機

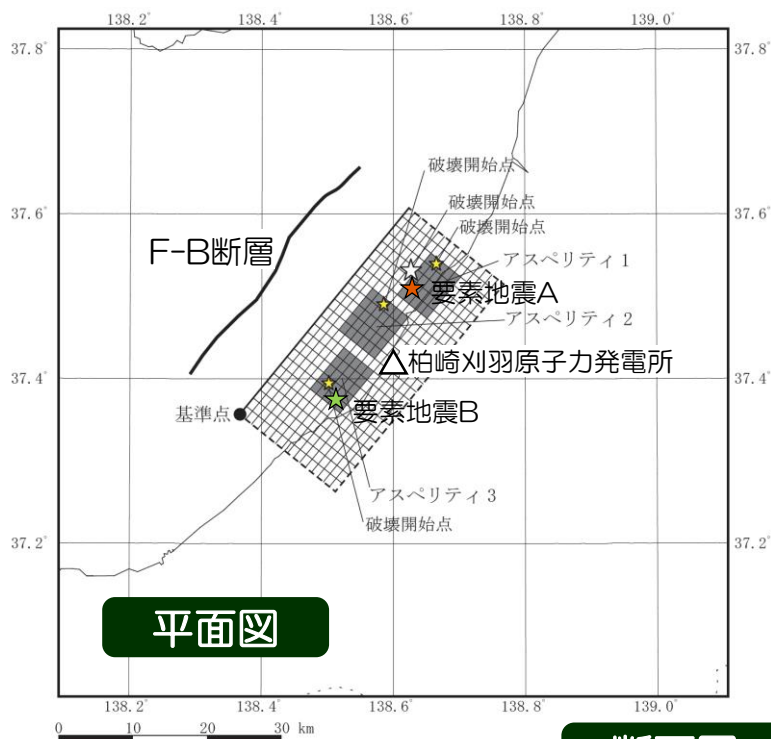
- 観測記録
- 断層モデルによる評価
- 断層モデルによる評価 (要素地震変更)



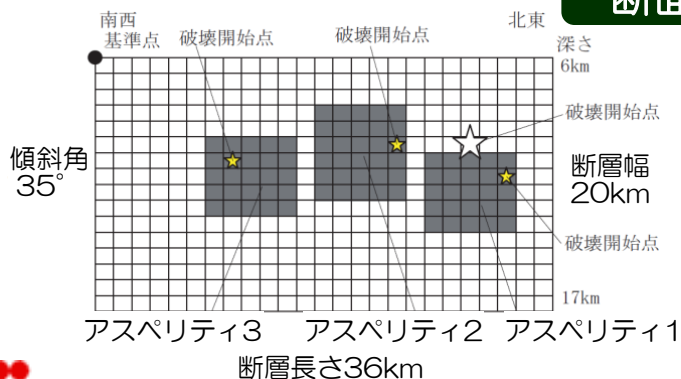
■ 荒浜側のEW方向、UD方向は記録を概ね再現しているものの、NS方向が過大評価となることを確認。

# ②【参考1】F-B断層による地震 中越沖地震拡張モデル 第3アスペリティの要素地震を変更したケース

## 断層モデル



平面図



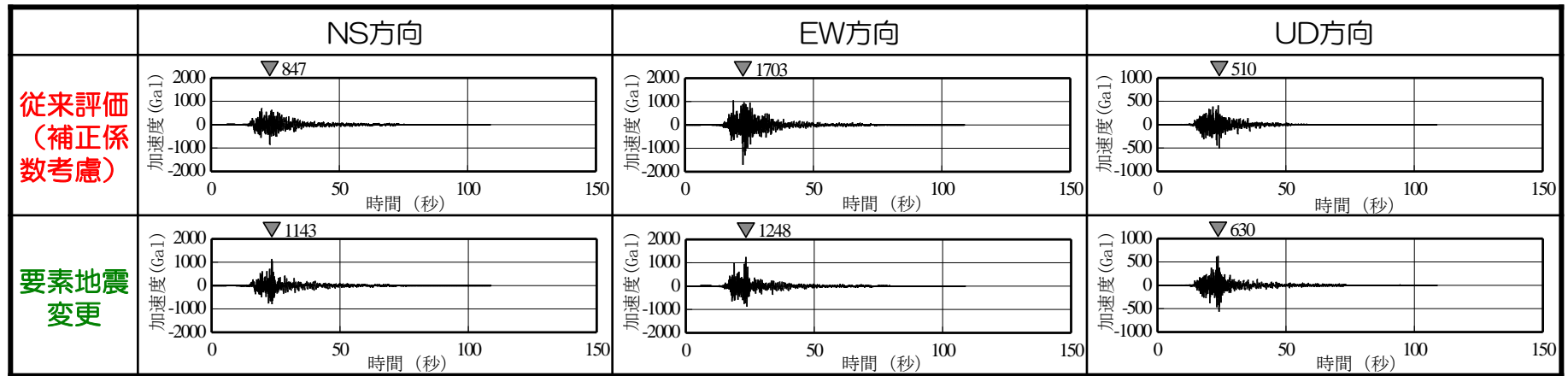
断面図

- 中越沖地震アスペリティモデルを用いたシミュレーション解析によると、UD方向については、補正係数を考慮したケースと比較し、中越沖地震の観測記録の再現性が高いことから、F-B断層による地震の断層モデルを用いた手法において同要素地震を用いて評価を実施。
- 第1・2アスペリティについては、要素地震A（現状の要素地震）、第3アスペリティについては、要素地震B（No.148）を用いた経験的グリーン関数法により、解放基盤表面における地震動評価を実施。

## 要素地震の震源パラメータ

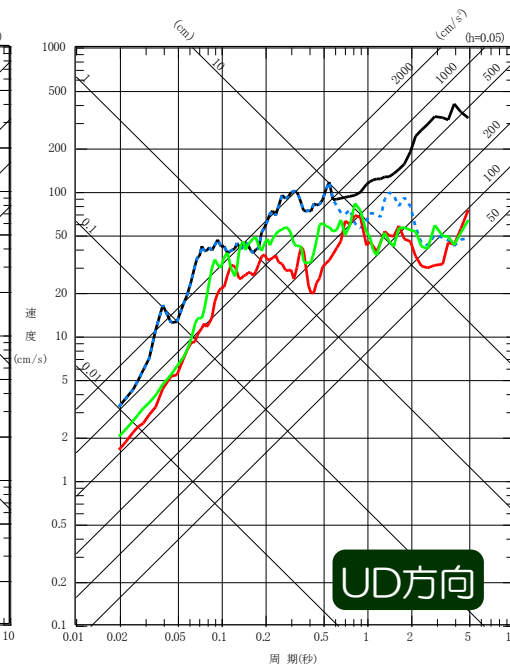
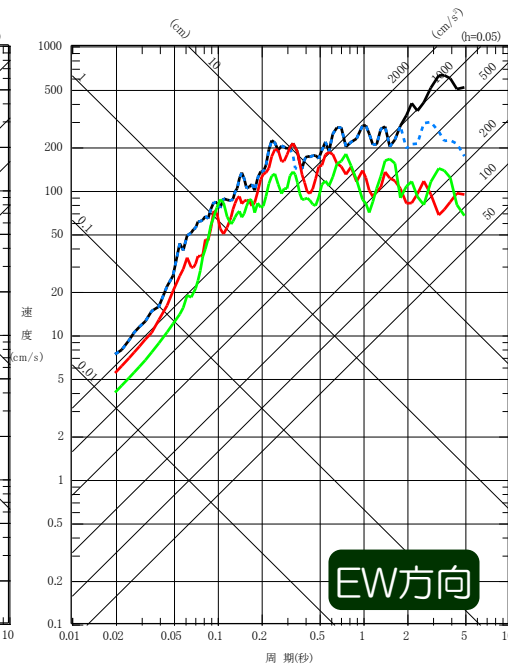
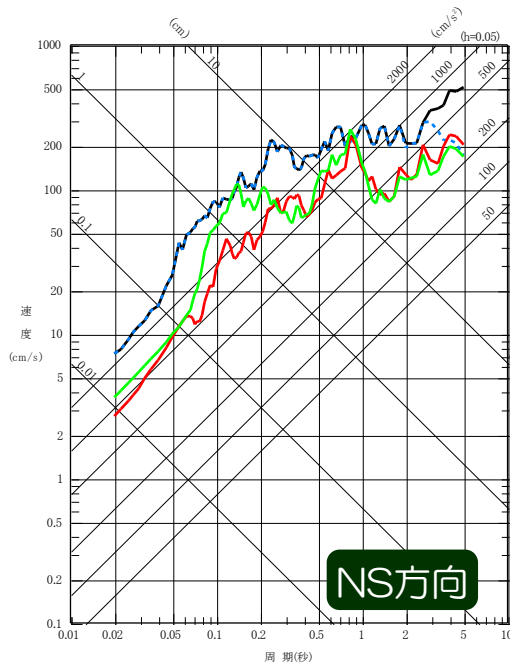
		要素地震A	要素地震B	備考
発生日時		2007/7/16 21:08	2007/8/3 11:01	気象庁
マグニ チュード	M <sub>j</sub>	4.4	4.1	気象庁
	M <sub>w</sub>	4.4	4.0	F-net
震源 位置	東経(°)	138.63	138.52	気象庁
	北緯(°)	37.51	37.38	気象庁
震源深さ(km)		13.6	20	気象庁
走向(°)		187 ; 39	59 ; 226	F-net
傾斜(°)		54 ; 41	48 ; 43	F-net
すべり角(°)		70 ; 115	99 ; 80	F-net
地震モーメント(N・m)		5.21 × 10 <sup>15</sup>	1.05 × 10 <sup>15</sup>	F-net
コーナー周波数(Hz)		1.65	1.64	Brune(1970)式
実効応力(MPa)		4.6	0.93	設定
Q値		76 f <sup>0.74</sup>	76 f <sup>0.74</sup>	岩田ほか(2005)

# ②【参考1】 F-B断層による地震 第3アパ<sup>リ</sup>ティの要素地震を変更したケース 荒浜側（評価点：解放基盤表面）

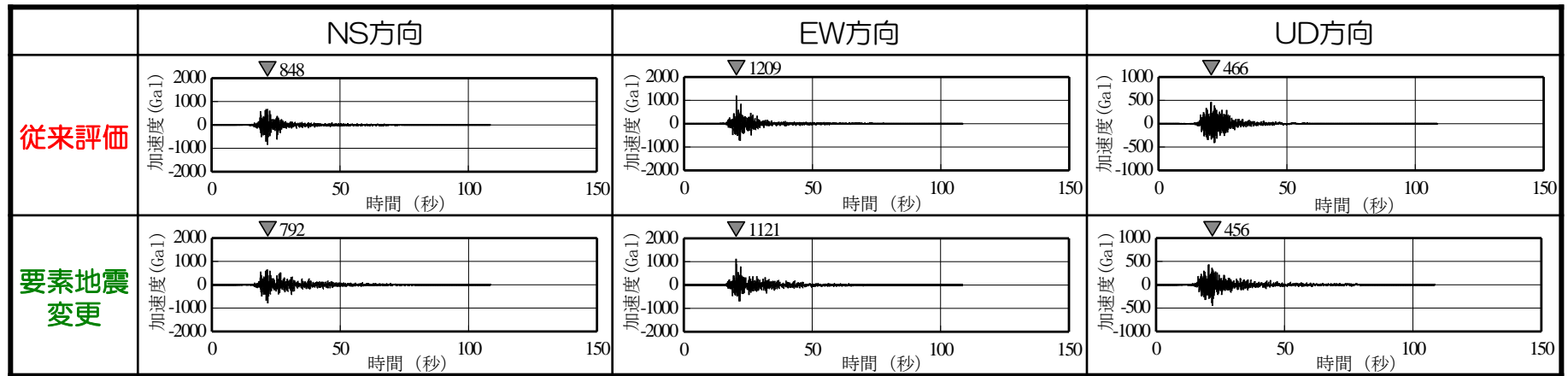


- F-B断層による地震 断層レベルによる評価（従来評価Ss-2）
- F-B断層による地震 断層レベルによる評価（要素地震変更）
- - - F-B断層による地震 応答スペクトルに基づく評価(Ss-1)
- 【参考】基準地震動Ssの包絡スペクトル

■ 評価結果は、UD方向の周期0.5秒付近の周期帯をはじめ、基準地震動Ssの包絡スペクトル及び基準地震動Ss-1を概ね下回ることを確認。

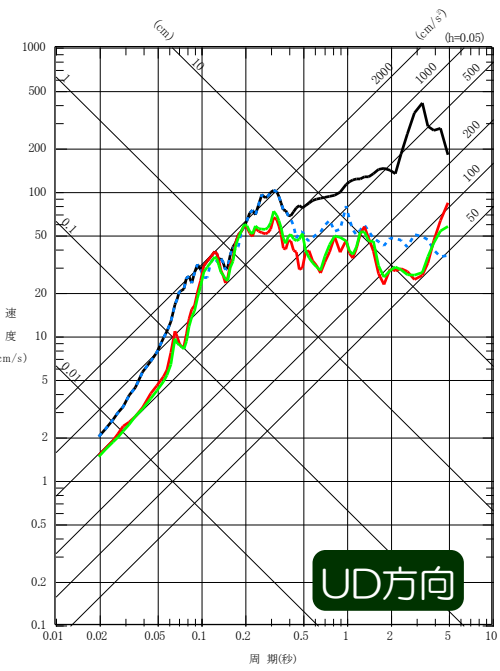
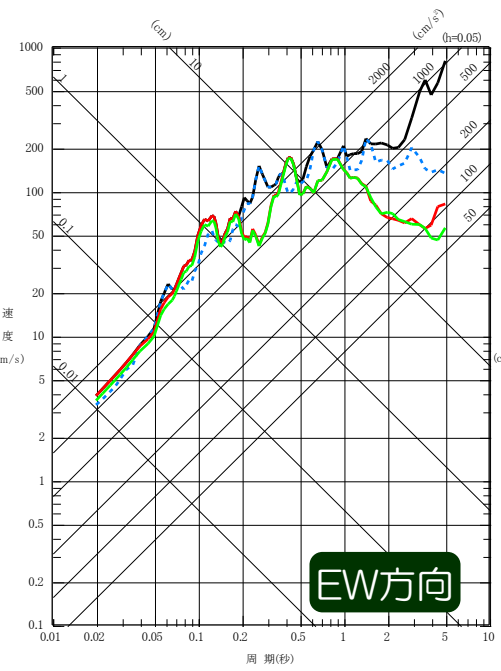
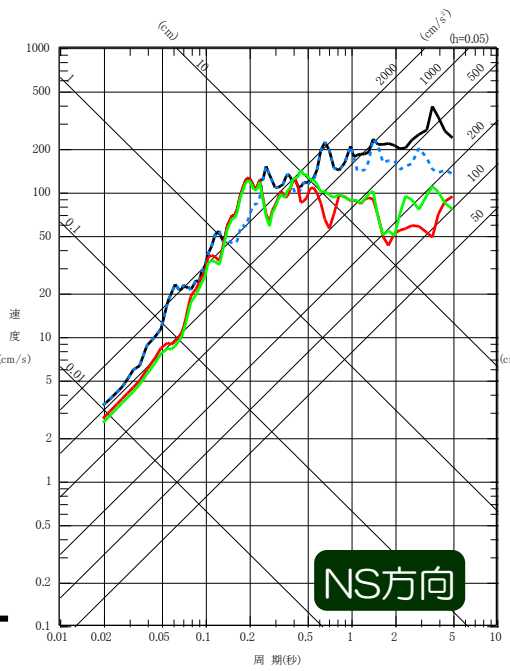
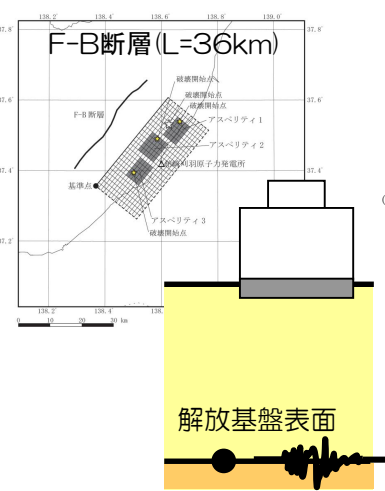


# ②【参考1】 F-B断層による地震 第3アパ<sup>リ</sup>ティの要素地震を変更したケース 大湊側（評価点：解放基盤表面）



■ 従来の評価結果と比較し、地震動レベルに大きな相違が無いことを確認。

— F-B断層による地震 断層レベルによる評価（従来評価Ss-2）
 - - - F-B断層による地震 応答スペクトルに基づく評価(Ss-1)
 — F-B断層による地震 断層レベルによる評価（要素地震変更）
 — 【参考】基準地震動Ssの包絡スペクトル

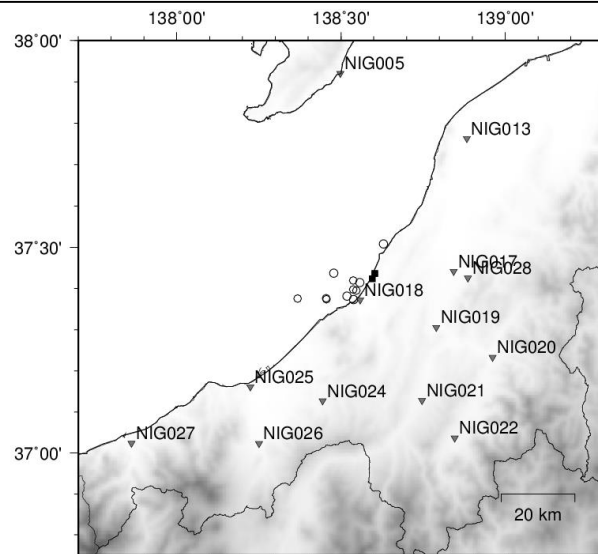


## ②【参考2】スペクトルインバージョンによる小地震の震源パラメータ推定

- 2007/7/16の地震については、芝(2008)において要素地震の見積もりが行われ、理論スペクトルと観測記録が概ね整合する傾向にあることが確認できている。
- ここでは、中越沖地震の第3アスペリティ位置付近で発生した小地震に対してスペクトルインバージョンを行い、伝播特性・サイト増幅特性を分離し、震源スペクトルを評価することで、新たに追加する2007/8/3の地震の見積もりが適切に行われていることを確認する。

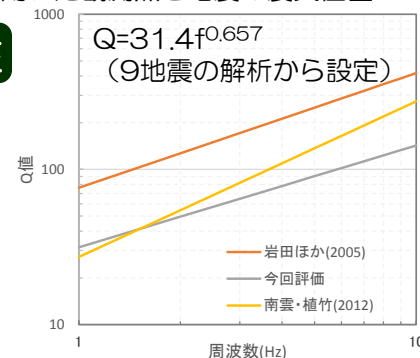
スペクトルインバージョンは、以下の条件で実施。

- 対象地震：中越沖地震の第3アスペリティ付近で発生し、K-NET柏崎で観測記録が得られている9地震に芝(2008)の要素地震を加えた10地震
- 対象観測点：周辺K-NETを対象。震源パラメータの評価を目的としていることから、不整形性の影響がある敷地の観測記録はここでは対象外とした。
- 評価方法：推定される震源スペクトルの形状そのものは、要素地震のインバージョン解析の際の拘束条件（基準点の設定値）に依存するため、ここでは地震ごとの震源スペクトルの比を使い、基準となる地震（芝(2008)の要素地震）に対するモーメント比およびコーナー周波数を設定。（解析周波数：1～20Hz）



解析に用いた観測点と地震の震央位置

伝播特性



解析に用いた地震の諸元

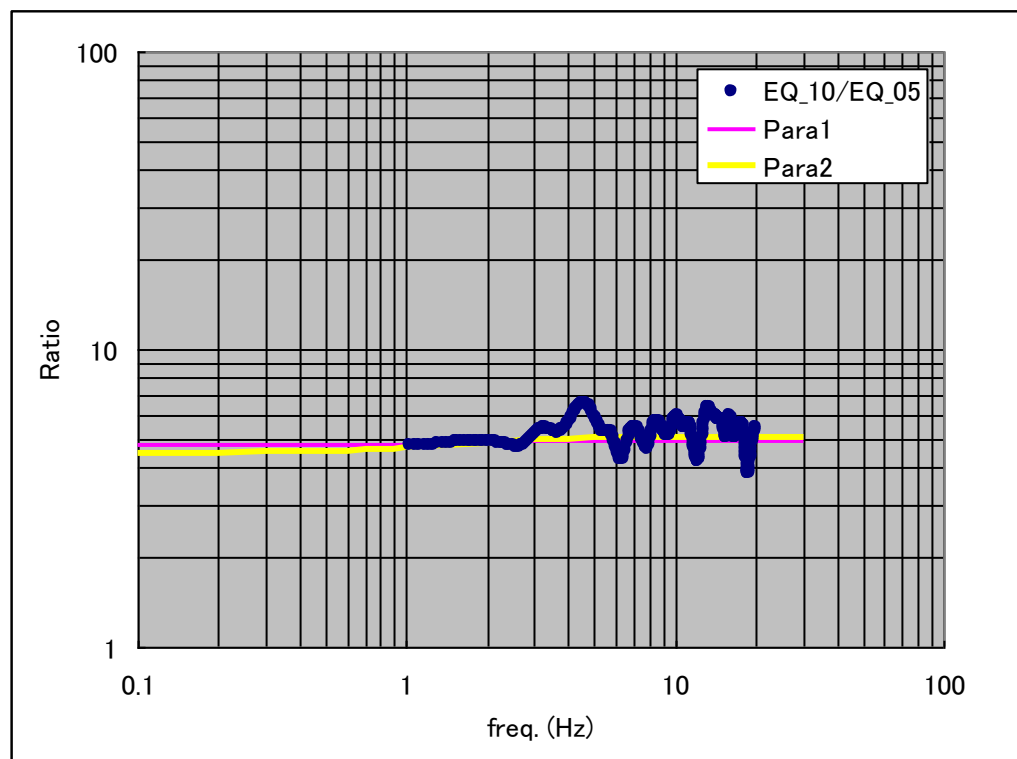
	年月日	北緯(°)	東経(°)	深さ(km)	地震規模M
EQ_00	2005/11/ 4 01:01	37.4373	138.478	27.73	4.8
EQ_01	2007/ 7/16 17:42	37.4147	138.5568	18.85	4.2
EQ_02	2007/ 7/16 18:19	37.3732	138.5385	21.54	4.4
EQ_03	2007/ 7/20 23:28	37.376	138.3682	19.98	3.3
EQ_04	2007/ 7/24 15:51	37.3982	138.537	18.7	3.5
EQ_05	2007/ 8/ 3 11:01	37.3817	138.5183	20.21	4.1
EQ_06	2007/ 8/ 4 00:16	37.4202	138.5373	17.88	3.2
EQ_07	2007/ 8/ 8 23:02	37.3768	138.4545	18.33	3.4
EQ_08	2007/ 8/10 02:04	37.3955	138.547	18.48	3.2
EQ_09	2007/10/13 16:06	37.3743	138.4557	18.4	2.9
EQ_10	2007/ 7/16 21:08	37.5088	138.6297	20.42	4.4



## ②【参考2】 スペクトルインバージョンによる小地震の震源パラメータ推定

- インバージョンによって求めた震源スペクトルと基準地震（7/16 21:08）との比を計算する。
- Para1として、 $M_0$ をF-netの値として推定したパラメータにより計算される理論スペクトル比（Bruneのモデルを仮定）をプロット。
- Para2として、観測値との目視により設定したパラメータで計算されるスペクトル比をプロットした。

No.148



EQ\_05

	Para1(F-net)	Para2(fit)
$m_0$ (Nm)	1.10E+15	1.16E+15
$\Delta\sigma$ (MPa)	1	0.93
$f_c$ (Hz)	1.61	1.55
$M_0/m_0$	4.7	4.5

EQ\_10

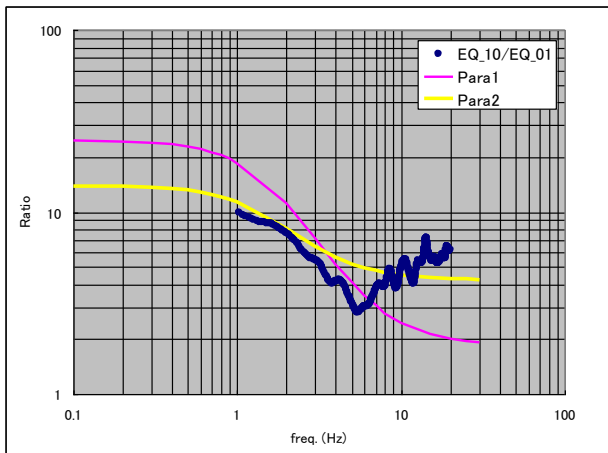
	基準
$M_0$ (Nm)	5.21E+15
$\Delta\sigma$ (MPa)	4.6
$f_c$ (Hz)	1.65

F-netの $M_0$ の値、Para1として仮定した $\Delta\sigma$ は概ね妥当と考えられる。

## ②【参考2】 スペクトルインバージョンによる小地震の震源パラメータ推定

■ 今回追加する要素地震の見積もりは、Para1・Para2ともに整合しており、他の候補を用いる場合より、信頼性が高いものと考えられる。

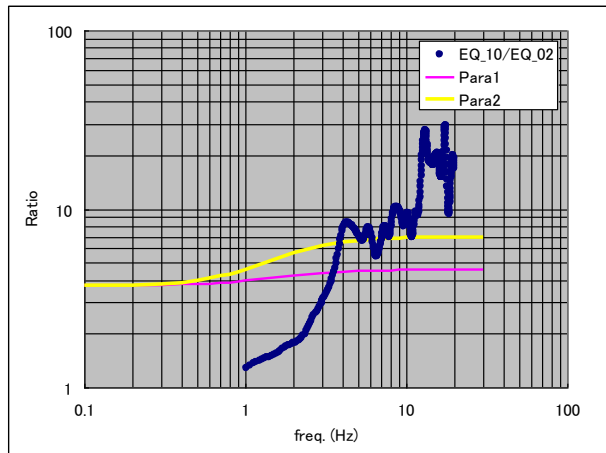
No.125



EQ\_01

	Para1(F-net)	Para2(fit)
$m_0$ (Nm)	2.10E+14	3.72E+14
$\Delta\sigma$ (MPa)	10	2.17
$f_c$ (Hz)	6.04	3.00
$M_0/m_0$	24.8	14.0

No.126

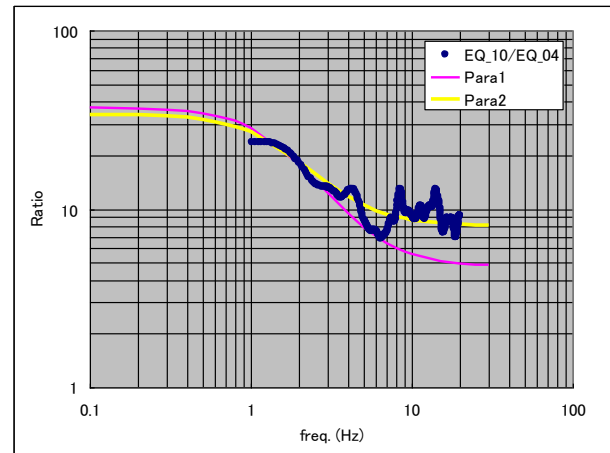


EQ\_02

	Para1(F-net)	Para2(fit)
$m_0$ (Nm)	1.40E+15	1.41E+15
$\Delta\sigma$ (MPa)	1	0.53
$f_c$ (Hz)	1.49	1.20
$M_0/m_0$	3.7	3.7

この地震は、K-NET柏崎の極近傍で発生しており、パラメータが正しく求まっていない可能性がある。

No.145



EQ\_04

	Para1(F-net)	Para2(fit)
$m_0$ (Nm)	1.40E+14	1.53E+14
$\Delta\sigma$ (MPa)	3	1.30
$f_c$ (Hz)	4.63	3.40
$M_0/m_0$	37.2	34.0

F-netの $M_0$ の値が妥当とすれば、Para1として仮定した $\Delta\sigma$ は若干大きめの値である可能性がある。

※Para1： $M_0$ をF-netの値として推定したパラメータにより計算される理論スペクトル比（Bruneのモデルを仮定）  
 Para2：観測値との目視により設定したパラメータで計算されるスペクトル比

## ②【参考3】入倉ほか(2008)の要素地震の確認

- 入倉ほか(2008)では、第3アスペリティ位置付近で発生した要素地震を用いた経験的グリーン関数法による評価がなされている。ここでは、入倉ほか(2008)で用いられている要素地震について確認。

本震と余震の諸元

	Mainshock	Aftershock(AFT1)	Aftershock(AFT2)
Origin time	07/07/16 10:13	07/07/16 21:08	07/08/04 00:16
Hypocenter	37.557, 138.609	37.509, 138.630	37.420, 138.537
Depth	10km	13.6km	11.1km
Mw	6.6	4.4	-
Mo	8.37E+16Nm	5.21E+16Nm	1.56E+14Nm

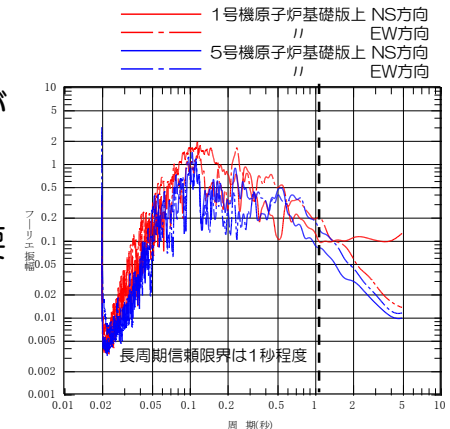
余震のパラメータの評価

	7月16日21:08	8月4日00:16
地震モーメント	5.21E+15Nm (F-net)	1.56E+14Nm
コーナー周波数	2.0Hz	4.0Hz
応力降下量	9.1MPa	2.2MPa
断層面積	1.24km <sup>2</sup>	0.31km <sup>2</sup>

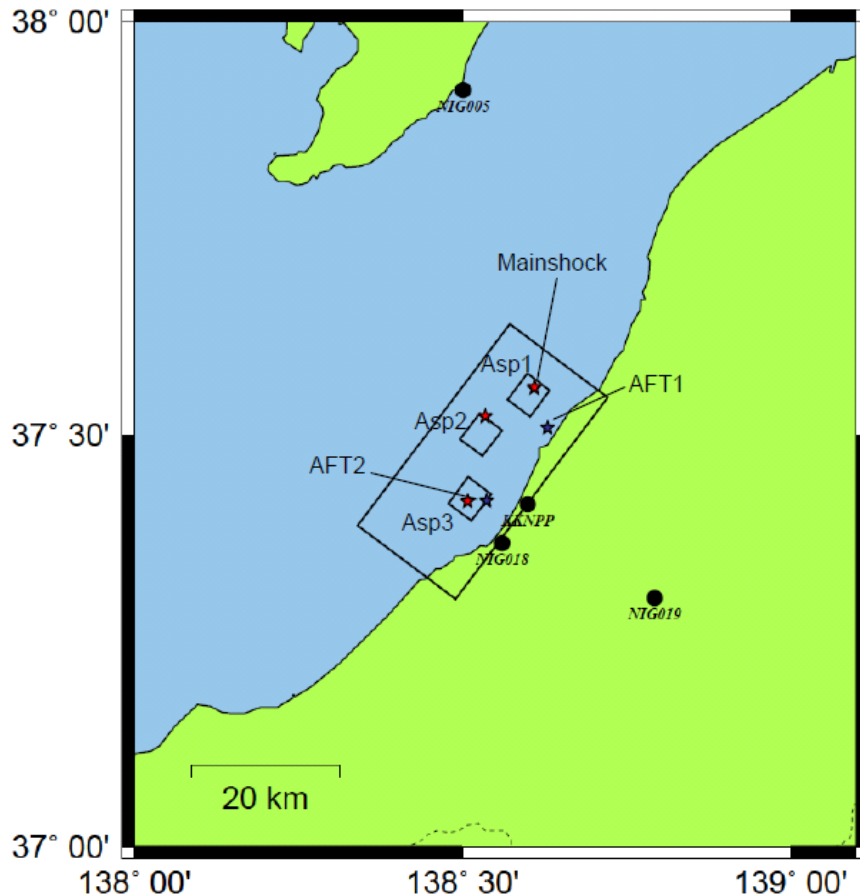
防災科研F-netにおいてメカニズム解は求められていないことから地震モーメント $M_0$ を独自に評価

入倉ほか(2008)より抜粋 (一部加筆・修正)

- 2007/8/4の地震の観測記録は、長周期信頼限界が周期5秒以下であること、F-netでメカニズム解が求められていないことから要素地震の候補としては、2007/8/3の地震がより適しているものと判断。



2007/8/4の地震のフーリエ振幅 (Parzen Window 0.2Hz)



経験的グリーン関数法により推定された震源モデル

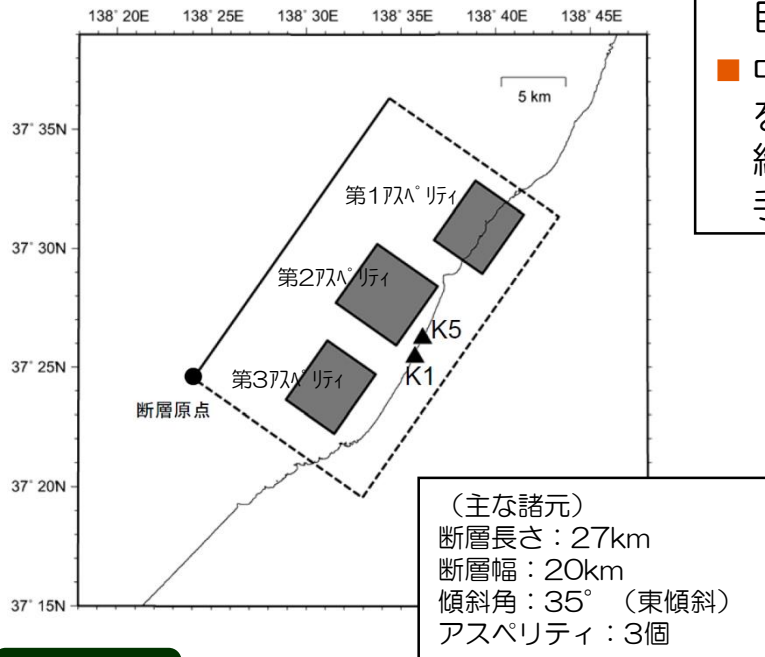
入倉ほか(2008)より抜粋

# 評価の妥当性に関する検討

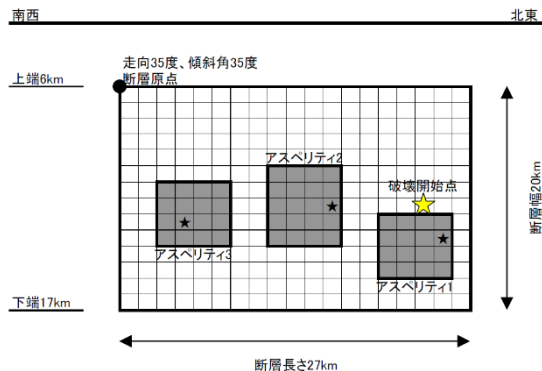
- ①第3アスペリティに割り当てる要素地震の補正係数に関する検討
- ②第3アスペリティ位置付近の地震発生状況の整理及び要素地震として採用した場合のシミュレーション解析
- ③地震動レベルの確認を目的とした統計的グリーン関数法によるシミュレーション解析
- ④まとめ

# ③統計的グリーン関数法によるシミュレーション解析

## 平面図



## 断面図



- 敷地は褶曲構造等の影響が認められるものの、断層モデルを用いた手法で評価される地震動レベルの妥当性を確認することを目的に統計的グリーン関数法(SGF)による評価を行う。
- 中越沖地震アスペリティモデルを用いたシミュレーション解析を実施し、観測記録および経験的グリーン関数法(EGF)による結果と比較を行う。なお、波形合成は、Dan et al.(1989)の手法による。

## 要素地震の加速度フーリエスペクトルモデル

Boore(1983)による統計的モデルに、震源のインピーダンスと地震基盤のインピーダンスとの相違を考慮した次式とする。

$$A(f) = S(f) \cdot P(f) \cdot \sqrt{\frac{\rho\beta}{\rho_s\beta_s}} \quad S(f) = \frac{F}{4\pi\rho\beta^3} \cdot M_0 \cdot \frac{(2\pi f)^2}{1+(f/f_c)^2} \cdot \frac{1}{\sqrt{1+(f/f_{\max})^{2s}}} \cdot FS$$

$$P(f) = \frac{\exp\{-\pi f X / (Q\beta)\}}{X}$$

$$f_c = 4.9 \times 10^6 \beta \left( \frac{\Delta\sigma}{M_0} \right)^{1/3}$$

- $A(f)$ : 加速度フーリエスペクトル振幅       $f$ : 周波数  
 $F$ : 放射特性       $FS$ : 自由表面での増幅を表す係数(地表:2, 地中:1)  
 $f_c$ : コーナー周波数       $f_{\max}$ : 高周波遮断周波数  
 $Q$ : Q値       $s$ : 係数(ここでは、佐藤ほか(1994)より $2s=4.2$ )  
 $X$ : 震源距離(サイトから断層面の中心までの距離)  
 $\beta, \rho$ : 震源におけるS波速度(km/s)と地盤密度  
 $\beta_s, \rho_s$ : 評価点の地震基盤におけるS波速度(km/s)と地盤密度  
 $\Delta\sigma$ : 応力降下量(bar)(平均応力降下量と同じに設定)  
 $M_0$ : 地震モーメント(dyne・cm)       $M_0 = \frac{16}{7} \Delta\sigma \cdot r_e^3$        $r_e$ : 要素断層の等価半径

# ③統計的グリーン関数法によるシミュレーション解析 評価条件

## 要素地震の経時特性 (時刻歴包絡関数)

要素地震の経時特性（時刻歴包絡関数）については、Boore(1983)による次式を使用。

$$w(t) = a \cdot t^b \cdot \exp(-ct) \cdot H(t)$$

$$a = \{e/(\varepsilon T_w)\}^b \quad T_w = 2T_d \quad T_d = f_c^{-1}$$

$$b = -\varepsilon \cdot \ln \eta / \{1 + \varepsilon(\ln \varepsilon - 1)\} \quad c = b/(\varepsilon \cdot T_w)$$

$t$  : 時間       $w(t)$  : 経時特性（時刻歴包絡関数）

$H(t)$  : ステップ関数       $f_c$  : コーナー周波数

$\varepsilon \eta$  : 係数 ( $\varepsilon=0.2, \eta=0.05$ )

## 地下構造モデル

小林ほか(2005)の方法を用いて、地盤系の記録（2004年中越地震の余震）から算定した水平／上下方向の振幅比，レシーバー関数に対して遺伝的アルゴリズムによる逆解析を実施して推定した地下構造モデルを使用。

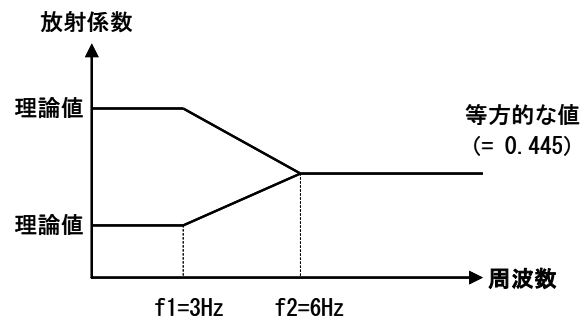
層No.	T. M. S. L. (m)	層厚 (m)	密度 (t/m <sup>3</sup> )	Vs (m/s)	Vp (m/s)	Q (-)
	-284					
1	-300	16	2.11	1110	2280	50f
2	-1360	1060	2.12	1160	2390	50f
3	-2410	1050	2.25	1620	3220	50f
4	-3700	1290	2.36	2050	4150	50f
5	-5880	2180	2.51	2760	4820	50f
6	-	-	2.59	3170	5230	-

荒浜側

地震基盤

## 放射特性

佐藤(2000)を参考に、3Hz以下では理論値，6Hz以上の高周波領域ではBoore and Boatwright(1984)による等方的な値とし、3Hz～6Hzの遷移領域では放射係数が両対数軸で直線的に変化すると仮定。



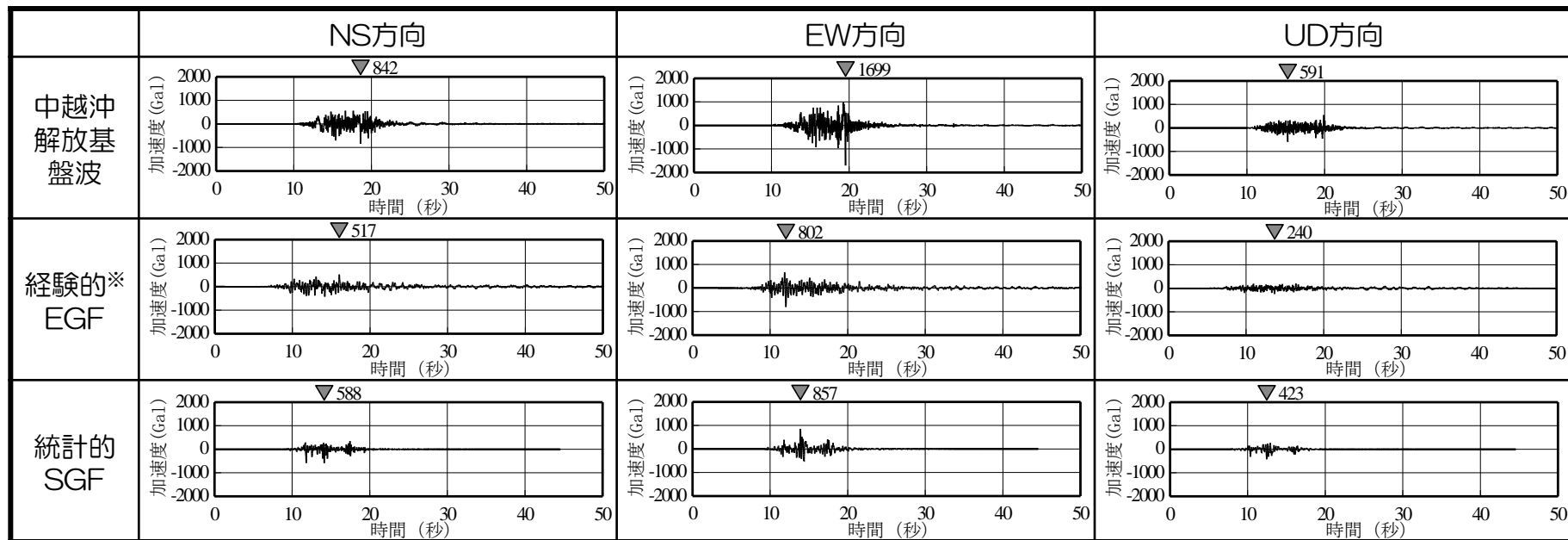
層No.	T. M. S. L. (m)	層厚 (m)	密度 (t/m <sup>3</sup> )	Vs (m/s)	Vp (m/s)	Q (-)
	-134					
1	-149	15	2.03	730	1800	50f
2	-180	31	2.03	890	1900	50f
3	-231	51	2.03	890	1900	50f
4	-266	35	2.03	960	1900	50f
5	-300	34	2.03	1000	2100	50f
6	-1360	1060	2.12	1160	2390	50f
7	-2410	1050	2.25	1620	3220	50f
8	-3700	1290	2.36	2050	4150	50f
9	-5880	2180	2.51	2760	4820	50f
10	-	-	2.59	3170	5230	-

大湊側

地震基盤

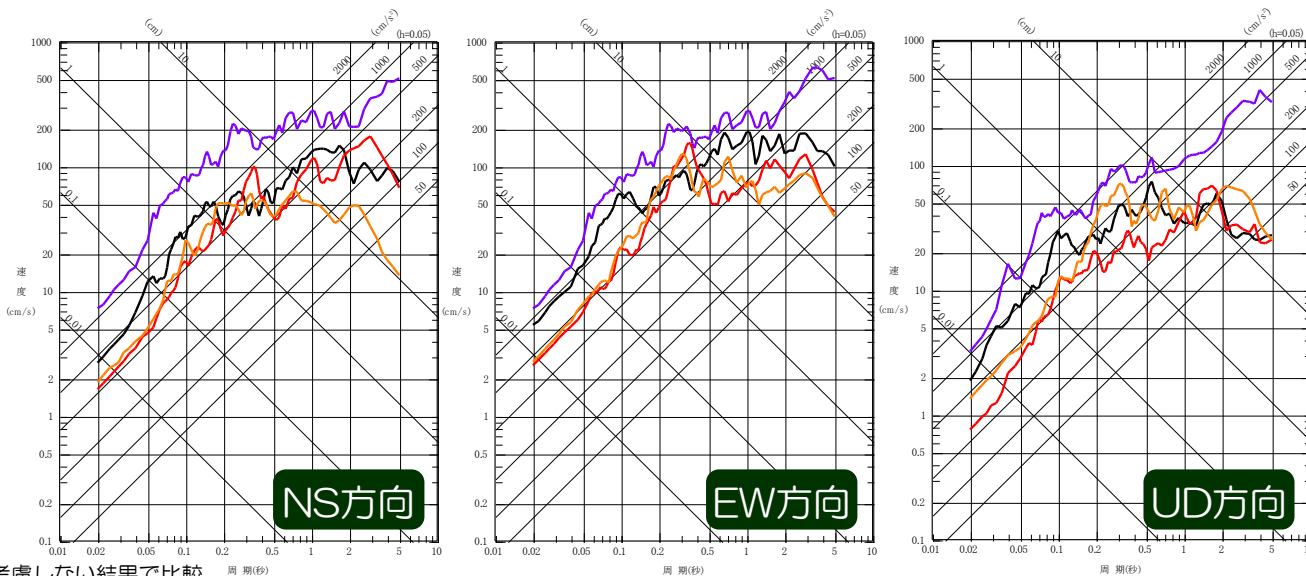
# ③統計的グリーン関数法によるシミュレーション解析

## シミュレーション解析結果 荒浜側（評価点：解放基盤表面）



- 荒浜側のSGFは、褶曲構造等の影響が反映できていないため観測記録の地震動レベルが表現できていない。
- なお、褶曲構造の影響を反映していない（補正係数を考慮していない）EGFとSGFの地震動レベルは概ね同程度となっている。

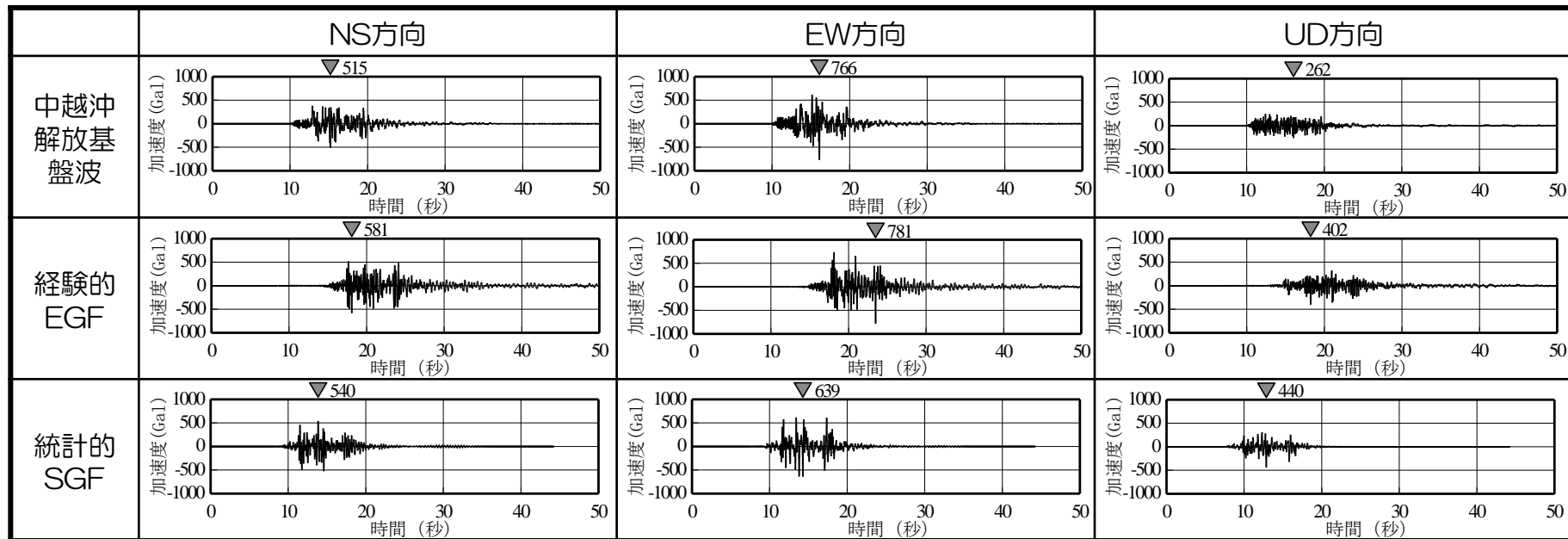
〓 観測記録  
 〓 基準地震動Ssの包絡スペクトル  
 〓 経験的グリーン関数法(EGF)※  
 〓 統計的グリーン関数法(SGF)



※荒浜側については要素地震の補正を考慮しない結果と比較

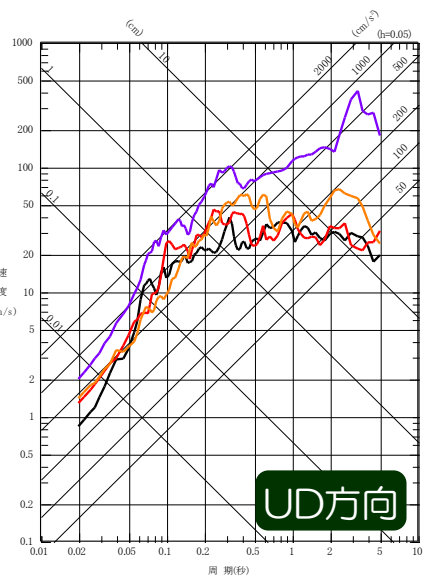
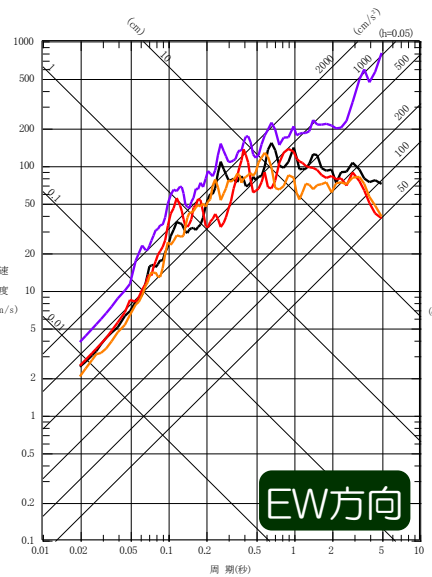
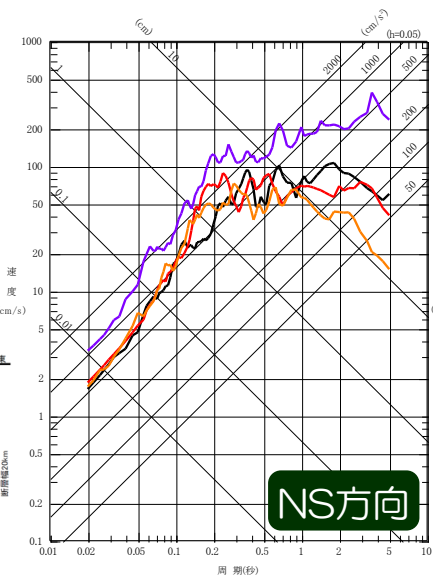
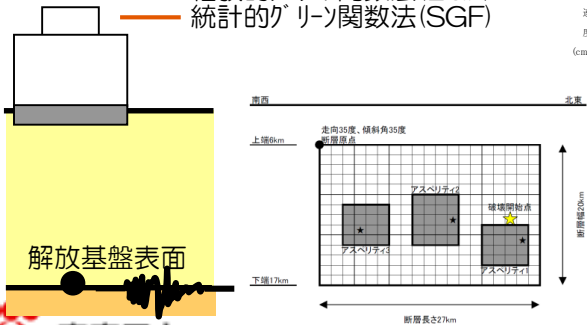
# ③統計的グリーン関数法によるシミュレーション解析

## シミュレーション解析結果 大湊側（評価点：解放基盤表面）



■ 大湊側のSGFは、EGFの評価結果と概ね同程度の地震動レベルとなっている。

- 観測記録
- 基準地震動Ssの包絡スペクトル
- 経験的グリーン関数法(EGF)
- 統計的グリーン関数法(SGF)





# 評価の妥当性に関する検討

- ①第3アスペリティに割り当てる要素地震の補正係数に関する検討
- ②第3アスペリティ位置付近の地震発生状況の整理及び要素地震として採用した場合のシミュレーション解析
- ③地震動レベルの確認を目的とした統計的グリーン関数法によるシミュレーション解析
- ④まとめ

## ④まとめ

- 中越沖地震アスペリティモデル(M6.8)を用いた評価手法に関する検討（第3アスペリティの補正係数、第3アスペリティ位置付近の地震発生状況、統計的グリーン関数法による評価）などを踏まえ、F-B断層による地震の断層モデルを用いた手法による地震動評価結果は、妥当なものであると考えられる。

### 荒浜側

- 第3アスペリティの補正波を用いたシミュレーション解析結果は、要素地震を変更した場合や統計的グリーン関数法によるシミュレーション解析と比較し、中越沖地震の際に特に特徴的であった荒浜側EW方向の観測記録の再現性が最も高いことを確認。
- 一方で、荒浜側UD方向については、要素地震を変更した場合に、観測記録の再現性が高い結果が得られたことから、F-B断層による地震についても同様の手法で評価を行い、基準地震動 $S_s$ の包絡スペクトル、基準地震動 $S_s-1$ を概ね下回ることを確認。
- なお、一次元地下構造を仮定した統計的グリーン関数法では、中越沖地震の際に確認された褶曲構造等の影響を適切に反映することが困難であったことから、経験的グリーン関数法で評価を行うことは妥当なものと考えられる。

### 大湊側

- 経験的グリーン関数法によるシミュレーション解析結果は、中越沖地震の際の観測記録の再現性が高いことを確認。
- また、一次元地下構造を仮定した統計的グリーン関数法によるシミュレーション解析結果によっても同程度の地震動レベルであり、評価は妥当なものと考えられる。

1. 地震発生層の設定
2. 検討用地震の選定
  - 2.1 孤立した短い活断層
  - 2.2 副次的な断層等
  - 2.3 被害地震の選定
  - 2.4 検討用地震の選定
3. F-B断層による地震の地震動評価
  - 3.1 震源モデルの設定と不確かさの考え方
  - 3.2 応答スペクトルに基づく地震動評価
  - 3.3 断層モデルを用いた手法による地震動評価
  - 3.4 評価の妥当性に関する検討
4. 長岡平野西縁断層帯による地震の地震動評価
  - 4.1 震源モデルの設定と不確かさの考え方
  - 4.2 応答スペクトルに基づく地震動評価
  - 4.3 断層モデルを用いた手法による地震動評価
  - 4.4 評価の妥当性に関する検討
5. 基準地震動の策定
6. 佐渡島南方～魚津断層帯による地震の地震動評価

## 4. 長岡平野西縁断層帯による地震の地震動評価

		内容	説明概要	ページ
6	H27 4/10 4/24	断層長さの不確かさを考慮した場合を基本として、その他の不確かさを考慮する必要がないか、不確かさの考え方について説明すること。	<ul style="list-style-type: none"> <li>不確かさの考え方について整理してご説明。</li> <li>なお、陸域の地震については、長岡平野西縁断層帯による地震を検討用地震とすることに見直し。</li> </ul>	133～142
7	H27 4/24	不確かさの考え方に関して、その根拠と妥当性について詳細に説明すること。	<ul style="list-style-type: none"> <li>不確かさの考え方について整理してご説明。</li> </ul>	133～142
8	H27 2/13 4/24	経験的グリーン関数法により評価を実施しているが、統計的グリーン関数法や中越沖地震時の要因分析に用いた地下構造モデルを利用した評価を行うなど、現状の地震動評価の妥当性を示すための検討を行うこと。	<ul style="list-style-type: none"> <li>統計的グリーン関数法による評価結果等を示し、現状の地震動評価結果の妥当性についてご説明。</li> </ul>	182～185
9	H27 4/24	要素地震の加速度フーリエスペクトル振幅において、理論値と観測値のフィッティングについて解説を加えること。	<ul style="list-style-type: none"> <li>震源特性、伝播特性、サイト特性を分離するスペクトルインバージョンを実施し、抽出した震源特性を用いて、適切に要素地震の見積もりが行われていることをご説明。</li> </ul>	192～199
13	H27 4/24	神原ほか(2006)の内容について詳細に説明すること。	<ul style="list-style-type: none"> <li>神原ほか(2006)の内容についてご説明。</li> </ul>	176,177
14	H27 4/24	長大な逆断層の断層パラメータの設定方法については、最新知見である壇ほか(2015)を盛り込んで取り纏めること。	<ul style="list-style-type: none"> <li>壇ほか(2015)による手法を用いて設定したパラメータについて記載を追記。</li> </ul>	143～149
15	H27 4/24	片貝断層の評価で2つの要素地震を用いているが、複数の要素地震を用いているような研究事例があれば示すこと。	<ul style="list-style-type: none"> <li>2つ以上の要素地震を用いて評価されている事例をご提示。</li> <li>また、1つの要素地震を用いたケース、角田・弥彦断層及び気比ノ宮断層に異なる要素地震を用いたケースなど要素地震の影響について確認した結果をご説明。</li> </ul>	190,191 200～208

# 地震動評価の方針

- 検討用地震の地震動評価は、「応答スペクトルに基づく地震動評価」および「断層モデルを用いた手法による地震動評価」の双方を実施。
- 応答スペクトルに基づく地震動評価は、以下の特徴を踏まえ、Noda et al.(2002)の方法を用いる。
  - 解放基盤表面における水平および鉛直方向の地震動評価が可能であること。
  - 震源の拡がりを考慮できること。
  - 観測記録に基づく補正係数を考慮することにより、震源特性および地震波の伝播特性を的確に反映可能であること。

なお、観測記録に基づく補正係数は、検討用地震と発生様式等が同じ地震の観測記録から推定した解放基盤波とNoda et al.(2002)による応答スペクトルの比を用いて設定。

- 断層モデルを用いた手法による地震動評価は、要素地震として適切な地震の観測記録が敷地において得られていることから、震源特性および地震波の伝播特性を的確に反映することが可能である、経験的グリーン関数法により行う。
- また、地震動評価における不確かさの考慮については、評価結果に与える影響が大きいと考えられる断層パラメータを選定し、その度合いを評価する。

# 不確かさに関する要求事項の整理

- 不確かさに関する、「実用発電用原子炉及びその付属施設の位置、構造及び設備の基準に関する規則」並びにその解釈、さらには、それらに係る審査ガイドにおける要求事項は以下のとおり。

【実用発電用原子炉及びその付属施設の位置、構造及び設備の基準に関する規則の解釈】 別記2

- ⑤上記④の基準地震動の策定過程に伴う各種の不確かさ（震源断層の長さ、地震発生層の上端深さ・下端深さ、断層傾斜角、アスペリティの位置・大きさ、応力降下量、破壊開始点等の不確かさ、並びにそれらに係る考え方及び解釈の違いによる不確かさ）については、**敷地における地震動評価に大きな影響を与えると考えられる支配的なパラメータについて分析した上で、必要に応じて不確かさを組み合わせるなど適切な手法を用いて考慮すること。**

【基準地震動及び耐震設計方針に係る審査ガイド】

## 3.3.3 不確かさの考慮

- (1) 応答スペクトルに基づく地震動の評価過程に伴う不確かさについて、適切な手法を用いて考慮されていることを確認する。地震動評価においては、用いる距離減衰式の特徴や適用性、地盤特性が考慮されている必要がある。
- (2) 断層モデルを用いた手法による地震動の評価過程に伴う不確かさについて、適切な手法を用いて考慮されていることを確認する。併せて、震源特性パラメータの不確かさについて、その設定の考え方が明確にされていることを確認する。

### ① 支配的な震源特性パラメータ等の分析

- 1) 震源モデルの不確かさ（震源断層の長さ、地震発生層の上端深さ・下端深さ、断層傾斜角、アスペリティの位置・大きさ、応力降下量、破壊開始点等の不確かさ、並びにそれらに係る考え方、解釈の違いによる不確かさ）を考慮する場合には、敷地における地震動評価に大きな影響を与えると考えられる支配的なパラメータについて分析し、その結果を地震動評価に反映させることが必要である。特に、アスペリティの位置・応力降下量や破壊開始点の設定等が重要であり、震源モデルの不確かさとして適切に評価されていることを確認する。

### ② 必要に応じた不確かさの組み合わせによる適切な考慮

- 1) 地震動の評価過程に伴う不確かさについては、必要に応じて不確かさを組み合わせるなど適切な手法を用いて考慮されていることを確認する。
- 2) 地震動評価においては、震源特性（震源モデル）、伝播特性（地殻・上部マントル構造）、サイト特性（深部・浅部地下構造）における各種の不確かさが含まれるため、これらの不確かさ要因を**偶然的な不確かさと認識論的不確かさに分類して、分析が適切になされていること**を確認する。

# 不確かさを考慮する断層パラメータ

## ■ 不確かさを考慮するパラメータの分類

- 断層長さ及び連動
- 断層傾斜角
- 応力降下量
- 破壊伝播速度
- アスペリティの位置※

認識論的不確実さ（不確かさ）に分類されるもので、事前の詳細な調査や経験式などにに基づき設定できるもの

※アスペリティ位置については、平均変位速度等のデータをもとに、ここでは認識論的不確実さ（不確かさ）として扱う。

- 破壊開始点

偶然的な不確実さ（不確かさ）に分類されるもので、事前の詳細な調査や経験式からは特定が困難なもの

## ■ 不確かさの組み合わせに関する基本的な考え方

- 敷地における地震動評価に大きな影響を与えられとされる支配的なパラメータについて分析した上で、必要に応じて不確かさを組み合わせて考慮する。

1. 地震発生層の設定
2. 検討用地震の選定
  - 2.1 孤立した短い活断層
  - 2.2 副次的な断層等
  - 2.3 被害地震の選定
  - 2.4 検討用地震の選定
3. F-B断層による地震の地震動評価
  - 3.1 震源モデルの設定と不確かさの考え方
  - 3.2 応答スペクトルに基づく地震動評価
  - 3.3 断層モデルを用いた手法による地震動評価
  - 3.4 評価の妥当性に関する検討
4. 長岡平野西縁断層帯による地震の地震動評価
  - 4.1 震源モデルの設定と不確かさの考え方
  - 4.2 応答スペクトルに基づく地震動評価
  - 4.3 断層モデルを用いた手法による地震動評価
  - 4.4 評価の妥当性に関する検討
5. 基準地震動の策定
6. 佐渡島南方～魚津断層帯による地震の地震動評価



# 長岡平野西縁断層帯による地震 基本震源モデル

■ 地質調査結果によると、角田・弥彦断層，気比ノ宮断層及び片貝断層は，重力異常との対応性，主活動時期，活動開始時期，平均変位速度などがそれぞれ異なることから，長岡平野西縁断層帯は，基本的にはそれぞれが単独で活動する分割放出型の断層帯と判断される。



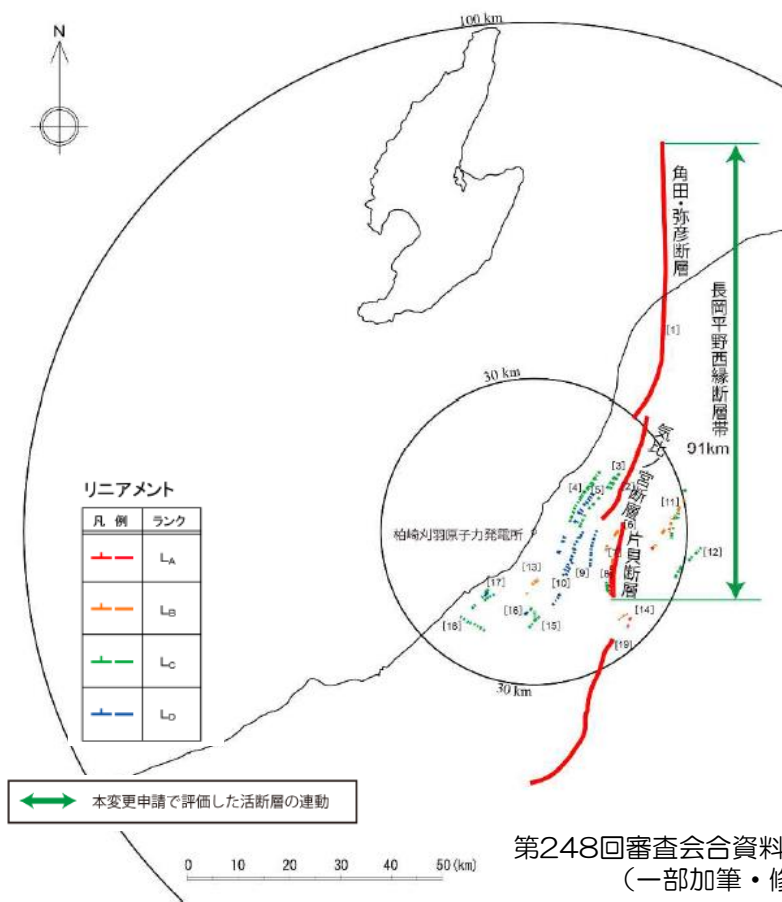
■ 一方，地震本部(2004)によると，長岡平野西縁断層帯は，北から，新潟市沖合と日本海沿岸付近の断層及び角田山東縁断層（角田・弥彦断層），鳥越断層（気比ノ宮断層），逆谷断層，関原断層（上富岡断層），親沢断層及び片貝断層から構成され，その長さは約83kmとされている。

図2 長岡平野西縁断層帯の位置と主な調査地点

1：鳥越地点 2：宮本町地点  
 A-J：反射法弾性波探査測線  
 A-C：文献5 D, E：文献6 F-J：文献7  
 ●：断層帯の北端と南端  
 断層の位置は文献1, 3及び4に基づく。  
 ただし，文献6, 7により断層の延長が確かめられるa, b, cの部分で，反射法弾性波探査で明らかになった断層の位置を補うように追加した。  
 基図は国土地理院発行数値地図200000「相川」「長岡」「高田」を使用。

地震本部(2004)より抜粋

■ 地震動評価においては，安全評価上，長さ約91kmの長岡平野西縁断層帯を基本震源モデルと考え，評価を行う。



第248回審査会合資料2-1より抜粋  
 (一部加筆・修正)

# 不確かさを考慮する断層パラメータの設定根拠

## 長岡平野西縁断層帯による地震

パラメータ	基本ケース	不確かさの考え方
①断層長さ及び連動	地震本部(2004)では、鳥越断層(気比ノ宮断層)以外は、活動履歴に関する詳しい資料が得られていないことが指摘されているものの長岡平野西縁断層帯として考慮していることから、安全側の評価として、長岡平野西縁断層帯として設定。	長岡平野西縁断層帯と十日町断層帯西部の間にはリニアメントが判読されない区間が約10kmあり、この区間では背斜構造の形態が異なること、また、中間付近に位置する山本山断層が新潟県中越地震の震源断層に関連する断層であり、両断層帯との関連性が無いと考えられることから連動する可能性は低いと考えられるが、安全評価上、長岡平野西縁断層帯と十日町断層帯西部の同時活動についても考慮して設定。
②破壊開始点	断層面及びアスペリティの下端に複数設定。	基本ケースの傾向を踏まえて、敷地に破壊が向かう方向であり、長周期側の地震動が大きくなる断層面北端に設定。
③アスペリティの位置	地質調査結果による平均変位量を参考に各断層中央上端に設定。	各断層内において、敷地に寄せて設定。
④破壊伝播速度	強震動予測レシピに基づきGeller(1976)より設定(0.72×Vs(3.4km/s)より2.4km/s)。	中越沖地震の震源インバージョン結果によると一部のアスペリティで最大3.1km/sの破壊伝播速度が求められていることから、敷地に近い片貝断層に3.1km/sを設定。
⑤応力降下量	強震動予測レシピに基づき設定(15.7MPa)。	中越沖地震の知見を反映し、強震動予測レシピに基づく値の約1.5倍(23.6MPa)を設定。
⑥断層傾斜角	地質調査結果及び地震本部(2004)を参考に50°として設定。	地震本部(2008)による中越沖地震の余震分布に基づき35°と設定。

# 長岡平野西縁断層帯による地震

## ③アスペリティの位置の不確かさについて

■ 「活断層の長期評価手法（暫定版）」報告書（地震本部(2010)）によると、「浅部のアスペリティと地表変位分布は、第一次近似的には整合していると推定されることから、活断層の平均変位速度の分布を明らかにすることにより、アスペリティ分布を推定できる可能性がある。」とされている。

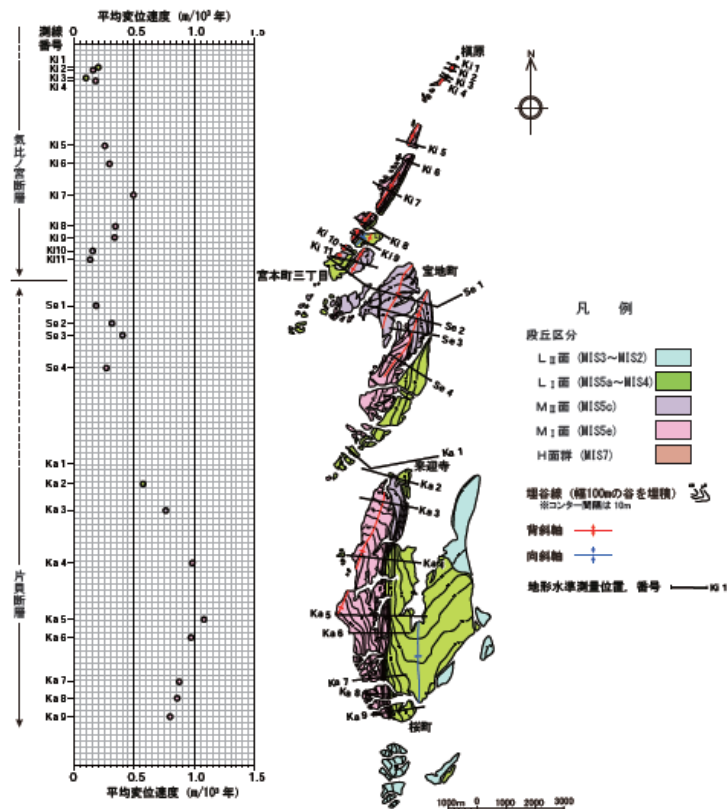
■ 地質調査結果から、片貝断層および気比ノ宮断層の平均変位速度は、断層中央で大きくなる傾向にある。



基本ケースにおいては、アスペリティ位置は、各断層の中央に配置する。

しかしながら、セグメント毎にアスペリティの位置を敷地に寄せた不確かさケースを考慮する。

【平均変位速度】



- ・ 角田・弥彦断層については、その全般にわたり撓曲部も含めて沖積面下に没しているため、後期更新世以降における平均変位速度を地形から求めることはできないが、気比ノ宮断層及び片貝断層については、その撓曲部から隆起部にかけての値を求めることができる。
- ・ 気比ノ宮断層及び片貝断層の平均変位速度の分布は、いずれも各断層の中央部付近で最大の値を示し、それぞれの断層の両端部に向かって減少しており、最大平均変位速度も、片貝断層では約 1.2m/千年、気比ノ宮断層では約 0.5m/千年の値を示し、大きな差異が認められる。

気比ノ宮断層および片貝断層の平均変位速度分布図

# 長岡平野西縁断層帯による地震 ④破壊伝播速度の不確かさについて

## 2004中越地震, 2007年中越沖地震の破壊伝播速度

### 2004年中越地震

■ 破壊伝播速度は、震源のS波速度( $V_s$ )に対して平均で0.66倍程度であり、一般的な値である。

	文献	手法	モデル	検討に用いた観測点数	a.破壊伝播速度(km/s)	b.震源S波速度(km/s)	比 a/b
①	Kamae et al.(2005)	経験的G関数法	特性化モデル	5	2	3.5	0.57
②	神原ほか(2006)	経験的G関数法	特性化モデル	19	2.45	3.4	0.72
③	佐藤ほか(2007)	経験的G関数法	特性化モデル	7	2.43	3.47	0.70
④	坂井・野津(2011)	経験的サイト増幅・位相特性を考慮した統計的G関数法	特性化モデル	16	2.8	3.5	0.80
⑤	青井ほか(2005)	波形イバ-ゾ法	すべり分布	7	2	3.4*	0.59
⑥	Honda et al.(2005)	波形イバ-ゾ法	すべり分布	10	2.2	3.28	0.67
⑦	野津(2005)	波形イバ-ゾ法	すべり分布	13	2.5	3.5	0.71
⑧	Hikima and Koketsu(2005)	波形イバ-ゾ法	すべり分布	11	-	-	-
⑨	芝(2006)	経験的G関数法を用いた震源イバ-ゾ法	地震E-ポテンシャル密度分布	9	-	-	-
⑩	Asano and Iwata(2009)	波形イバ-ゾ法	すべり分布	21	1.9	3.46	0.55

※文献中に記載がないため仮定

### 2007年中越沖地震

■ 破壊伝播速度は、震源のS波速度( $V_s$ )に対し、 $\Delta$ 部については平均約0.8倍とやや大きいものの、断層面全体では平均約0.7倍であり、Geller(1976)の  $V_r=0.72V_s$  とほぼ整合する値である。

	文献	手法	モデル	傾斜	検討に用いた観測点数	a.破壊伝播速度(km/s)	b.震源S波速度(km/s)	比 a/b
①	入倉ほか(2008)	経験的G関数法	特性化モデル	南東	6(3)	2.7	3.4	0.79
②	Kamae and Kawabe(2008)	経験的G関数法	特性化モデル	南東	22(12)	2.7	3.5	0.77
③	芝(2008)	全体	経験的G関数法を用いた震源イバ-ゾ法	南東	18(2)	2.3	3.4	0.68
		Asp	特性化モデル		8(8)	3.1,2.8,2.5	3.4	0.91,0.82,0.74
④	山本・竹中(2009)	経験的G関数法	特性化モデル	南東+北西	10(2)	2.7,2.8,2.8	3.4	0.79,0.82,0.82
⑤	野津(2010)	経験的サイト増幅・位相特性を考慮した強震波形計算手法	特性化モデル	南東	10(8)	3	3.5	0.86
⑥	Aoi et al.(2008)	波形イバ-ゾ法	すべり分布	南東	14	2.1	3.4	0.62
⑦	引間・瀬藤(2008)	ゾイットイバ-ゾ法	すべり分布	南東	近地11(2) 遠地29 測地41	-	-	-
⑧	Honda and Aoi(2009)	アルパック <sup>TM</sup> のイバ-ゾ法	すべり分布	南東	12(10)	2.45	3.4	0.72
⑨	Nakamura et al.(2009)	波形イバ-ゾ法	すべり分布	南東+北西	約50	-	-	-
⑩	Miyake et al.(2010)	波形イバ-ゾ法	すべり分布	南東	34	2.6	3.4	0.76

( ) 内は敷地内の観測点数

# 長岡平野西縁断層帯による地震 ④破壊伝播速度の不確かさについて

## 破壊伝播速度の不確かさの考え方

■ 破壊伝播速度に関する2004年中越地震，2007年中越沖地震の知見としては以下のとおり。

### 【2004年中越地震】

- 破壊伝播速度としては，一般的な値である。

### 【2007年中越沖地震】

- 断層リテ部については最大で3.1km/sとやや大きいものの，断層面全体としては一般的な値である。



- 破壊伝播速度に関する断層パラメータの設定においては，強震動予測レシピを参考にGeller(1976)をもとに設定。
- ただし，2007年中越沖地震の知見を踏まえ，破壊伝播速度の不確かさを考慮することとする。

# 不確かさを考慮する断層パラメータの設定根拠

## 長岡平野西縁断層帯～十日町断層帯西部による地震

パラメータ	基本ケース	不確かさの考え方
①断層長さ及び連動	長岡平野西縁断層帯と十日町断層帯西部が連動する可能性は低いと考えられるが、安全評価上、長岡平野西縁断層帯による地震の不確かさケースとして設定。	長岡平野西縁断層帯～十日町断層帯西部に加えて連動を考慮すべき断層はないものと考えられる。
②破壊開始点	断層面及びアスペリティの下端に複数設定。	長岡平野西縁断層帯による地震の評価結果の傾向を踏まえて、敷地に破壊が向かう方向であり、長周期側の地震動が大きくなる断層面北端に設定。
③アスペリティの位置	地質調査結果による平均変位量を参考に各断層中央上端に設定。	長岡平野西縁断層帯による地震の評価において、⑤応力降下量、⑥断層傾斜角の不確かさと比較して、敷地の地震動評価に与える影響が小さいことを確認しており⑤、⑥で代表させる。(P.172)
④破壊伝播速度	強震動予測レシピに基づきGeller(1976)より設定(0.72×Vs(3.4km/s)より2.4km/s)。	同上
⑤応力降下量	強震動予測レシピに基づき設定(16.7MPa)。	本来、認識論的不確かさ(不確かさ)を重畳させて考慮する必要は無いと考えられるが、安全側の評価として、長岡平野西縁断層帯による地震の評価において敷地の地震動評価に与える影響が大きい応力降下量の不確かさを考慮して設定。 中越沖地震の知見を反映し、強震動予測レシピに基づく値の約1.5倍(25.0MPa)を設定。
⑥断層傾斜角	地質調査結果及び地震本部(2004)を参考に50°として設定。	本来、認識論的不確かさ(不確かさ)を重畳させて考慮する必要は無いと考えられるが、安全側の評価として、長岡平野西縁断層帯による地震の評価において敷地の地震動評価に与える影響が大きい断層傾斜角の不確かさを考慮して設定。 地震本部(2008)による中越沖地震の余震分布に基づき35°と設定。

# 震源モデルの設定方針

- 長岡平野西縁断層帯として一連で活動するケース（全長91km）に不確かさを考慮した場合の地震動評価を実施。
- 断層の傾斜角は、地質調査結果及び地震本部の評価結果を参考に50°を基本として設定し、不確かさとして35°を考慮。
- 地震発生層は、速度構造や微小地震分布等に基づき、上端深さ6km、下端深さ17kmと設定。
- 断層モデルの破壊開始点は、巨視的断層面端部、アスペリティ端部を複数設定し、影響を確認したうえで、原則、巨視面北端部に設定。
- アスペリティの位置は、断層中央上端を基本とし、不確かさとして切刈外毎に敷地に寄せたケースを考慮。
- 破壊伝播速度は、震源のS波速度( $V_s$ )の0.72倍を基本とし、中越沖地震の知見を踏まえ、敷地に近い片貝断層の部分を3.1km/sとしたケースを考慮。
- 応力降下量の不確かさは、中越沖地震の知見を踏まえ、強震動予測レシピの1.5倍の値を考慮。
- また、十日町断層帯西部との連動を考慮したケース（全長132km）を設定し、さらに、長岡平野西縁断層帯の評価において大きな影響があった応力降下量、断層傾斜角の不確かさをそれぞれ考慮。

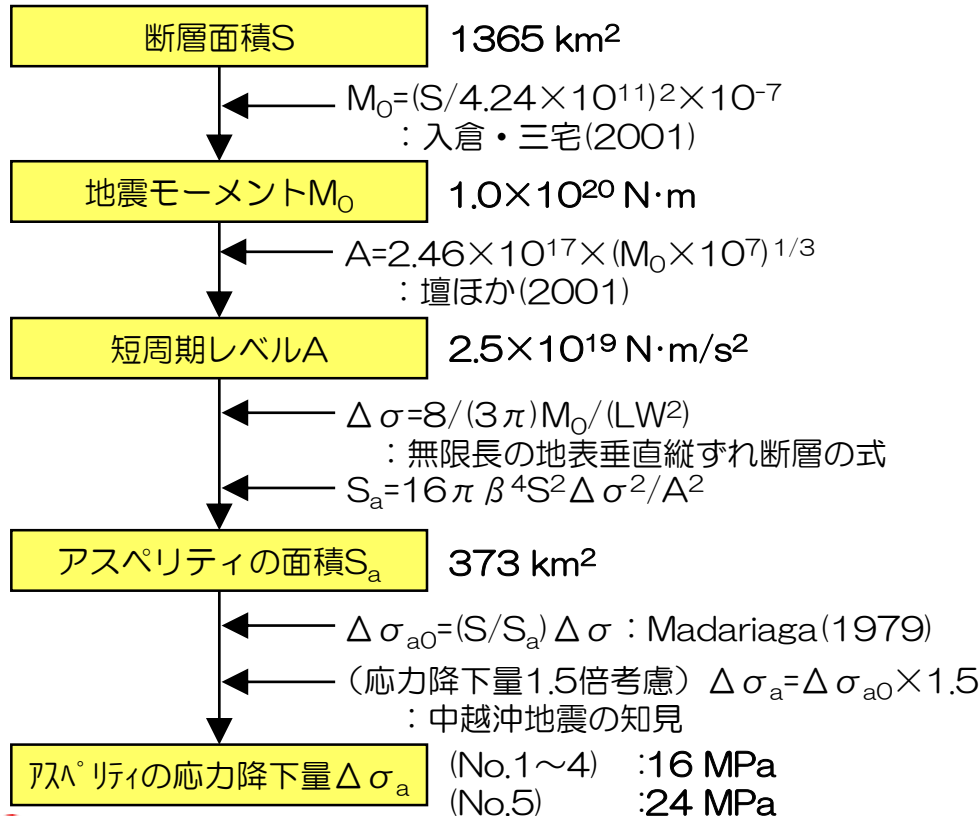
No.	検討ケース	断層長さ	断層傾斜角	破壊開始点	アスペリティ位置	破壊伝播速度	応力降下量
0	(地質調査結果) 片貝断層	16km	50°	—	—	—	—
1	長岡平野西縁断層帯	91km	50°	巨視面端部	中央上端	0.72Vs	強震動予測レシピ
2	破壊開始点の不確かさ考慮	91km	50°	複数設定	中央上端	0.72Vs	強震動予測レシピ
3	アスペリティ位置の不確かさ考慮	91km	50°	巨視面端部	切刈外毎敷地寄せ	0.72Vs	強震動予測レシピ
4	破壊伝播速度の不確かさ考慮	91km	50°	巨視面端部	中央上端	3.1km/s (片貝断層部)	強震動予測レシピ
5	応力降下量の不確かさ考慮	91km	50°	巨視面端部	中央上端	0.72Vs	強震動予測レシピ ×1.5
6	断層傾斜角の不確かさ考慮	91km	35°	巨視面端部	中央上端	0.72Vs	強震動予測レシピ
7	連動の不確かさ考慮	132km	50°	巨視面端部	中央上端	0.72Vs	強震動予測レシピ
8	連動及び応力降下量の不確かさ考慮	132km	50°	巨視面端部	中央上端	0.72Vs	強震動予測レシピ ×1.5
9	連動及び断層傾斜角の不確かさ考慮	132km	35°	巨視面端部	中央上端	0.72Vs	強震動予測レシピ

: 不確かさを考慮するパラメータ

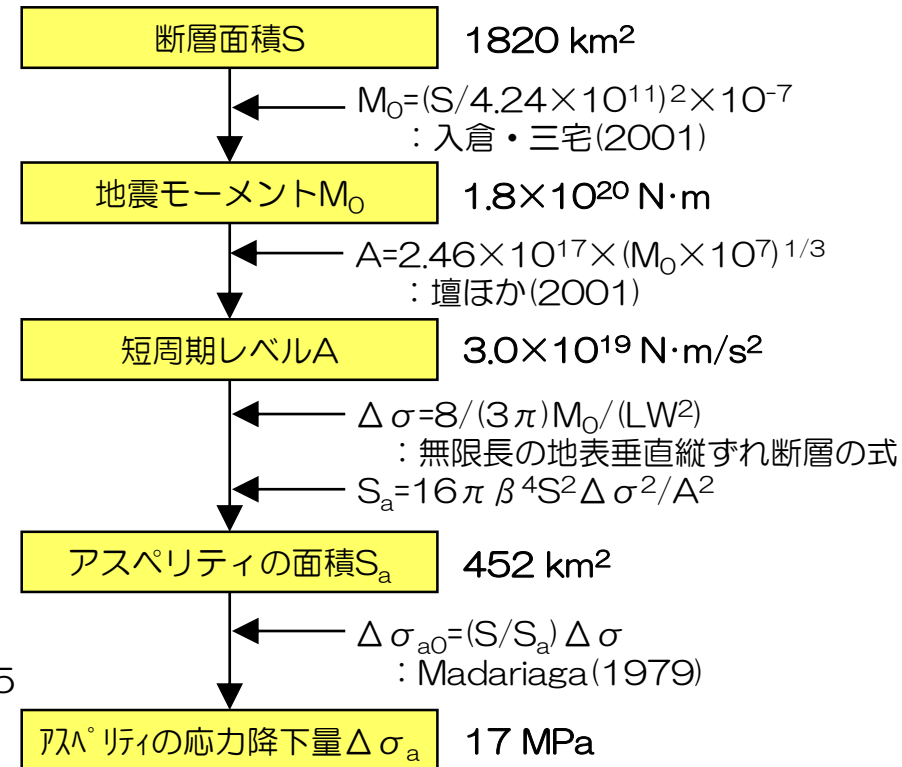
# 断層パラメータの設定フロー 長岡平野西縁断層帯

- 微視的断層パラメータは、地質調査結果、強震動予測レシピおよび以下の考え方にに基づき設定。
  - ① 佐藤ほか(1989)による無限長の地表垂直縦ずれ断層の式により平均応力降下量を算定。
  - ② 応力降下量の不確かさを考慮したケースでは、中越沖地震の知見を踏まえ、強震動予測レシピから求められた値の1.5倍を考慮。

長岡平野西縁断層帯 (No.1), 破壊開始点 (No.2), アスぺリティ位置 (No.3), 破壊伝播速度 (No.4) 及び 応力降下量 (No.5) の不確かさ考慮



断層傾斜角の不確かさ考慮 (No.6)





# 断層パラメータの設定手法について

## 長岡平野西縁断層帯

- 長岡平野西縁断層帯は、断層長さが91kmの長大断層であり、強震動予測レシピでは、このような長大断層においては断層パラメータの設定に注意が必要であることが指摘されている。
- したがって、ここでは、複数の方法で主要なパラメータを設定し、モデルの妥当性・過小評価になっていないことを確認する。
  - ①アスペリティ面積比が既往の知見として知られる15%~27%を著しく超えないこと。
  - ②アスペリティの応力降下量が、他の方法と比較して著しく低い値となっていないこと。
- 設定方法を表1に示す。なお、方法1~方法4において、S-M<sub>0</sub>の関係式は適用範囲に応じて入倉・三宅(2001)あるいはMurotani et al.(2010)を選択。

表1. 長大断層の断層パラメータの設定手法

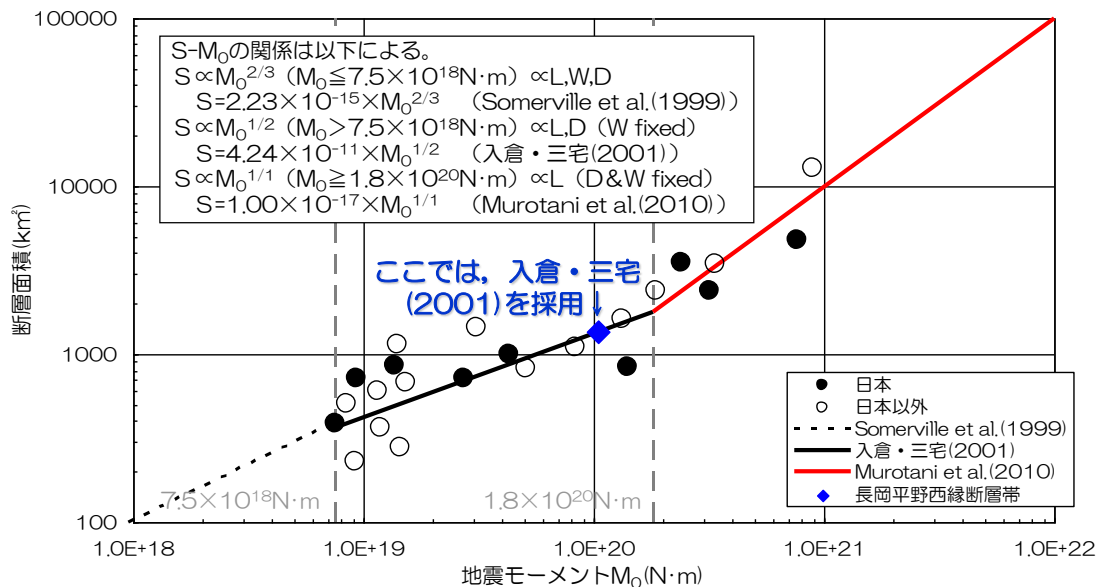
方法	方法1	方法1'	方法2	方法3	方法4	方法5
概要	無限長の地表垂直ずれ断層の式を用いた方法	平均応力降下量を一定値と仮定+長岡平野西縁断層帯で採用した値 (無限長の地表垂直ずれ断層の式より算定)	円形クラックの式(Eshelby(1957))を用いた方法	地震本部(2005)が山崎断層(横ずれ)の評価で用いた方法	中越沖地震の拡張	壇ほか(2015)による方法
備考				・長大な横ずれ断層の知見を用いた方法	・中越沖地震は、海域で発生した地震であることを踏まえ、海域の地震が対象 ・中越沖地震の知見である応力降下量1.5倍の効果を取り込んで設定するもの	・動力学的断層破壊シミュレーションによる平均動的応力降下量の近似式(入江ほか(2013))を用いた設定方法

# 断層パラメータの設定手法について

## 長岡平野西縁断層帯

■ 次のパラメータを設定し、その妥当性について検討。

- ①断層面積S
- ②地震モーメントM<sub>0</sub>
- ③短周期レベルA
- ④断層全体の応力降下量Δσ
- ⑤アスペリティの面積S<sub>a</sub>
- ⑥アスペリティの応力降下量Δσ<sub>a</sub>



用いる関係式は以下のとおり。

入倉・三宅(2001) :

$$M_0 = (S / 4.24 \times 10^{11})^2 \times 10^{-7} \quad \dots (1) \text{式}$$

壇ほか(2001) :

$$A = 2.46 \times 10^{17} \times (M_0 \times 10^7)^{1/3} \quad \dots (2) \text{式}$$

Somerville et al.(1999) :

$$S_a = 0.22 S \quad \dots (3) \text{式}$$

無限長の地表垂直縦ずれ断層の式 :

$$\Delta \sigma = 8 / (3\pi) M_0 / (LW^2) \quad \dots (4) \text{式}$$

円形クラックの式 (Eshelby(1957)) :

$$\Delta \sigma = 7 / 16 \times M_0 / (S / \pi)^{1.5} \quad \dots (5) \text{式}$$

Fujii and Matsu'ura(2000) :

$$\Delta \sigma = 3.1 \text{MPa} \quad \dots (6) \text{式}$$

$$S_a = 16 \pi \beta^4 S^2 \Delta \sigma^2 / A^2 \quad \dots (7) \text{式}$$

Madariaga(1979) :

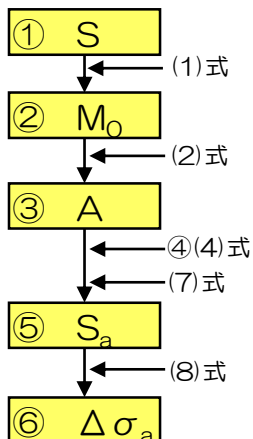
$$\Delta \sigma_a = (S / S_a) \Delta \sigma \quad \dots (8) \text{式}$$

壇ほか(2002) :

$$A = 4 \pi (S_a / \pi)^{0.5} \Delta \sigma_a \beta^2 \quad \dots (9) \text{式}$$

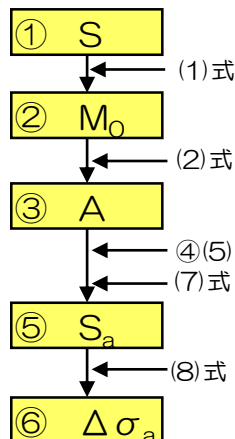
### 方法1

無限長の地表垂直縦ずれ断層の式を用いた方法



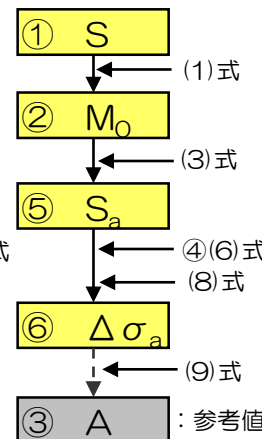
### 方法2

円形クラックの式を用いた方法



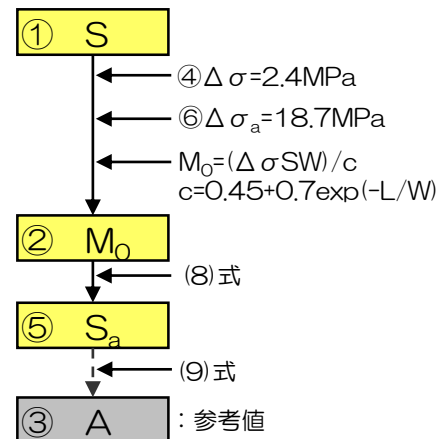
### 方法3

地震本部(2005)が山崎断層(横ずれ)の評価で用いた方法



### 方法5

壇ほか(2015)による方法



# 断層パラメータの設定手法について

## 長岡平野西縁断層帯

- 断層傾斜角50°を仮定し、それぞれの方法で設定したパラメータを下表に示す。
- アスペリティの応力降下量（他の方法と比較し、やや大きめあるいは同程度であること）及びアスペリティ面積比（15%～27%程度）から方法1を採用。

採用

パラメータ	単位	方法1	方法2	方法3	方法5
断層長さ L	km	91	91	91	91
断層幅 W	km	15	15	15	15
断層面積 S	km <sup>2</sup>	1365	1365	1365	1365
地震モーメント M <sub>0</sub>	N・m	1.04×10 <sup>20</sup>	1.04×10 <sup>20</sup>	1.04×10 <sup>20</sup>	1.09×10 <sup>20</sup>
短周期レベル A	N・m/s <sup>2</sup>	2.49×10 <sup>19</sup>	2.49×10 <sup>19</sup>	2.00×10 <sup>19</sup>	2.03×10 <sup>19</sup>
断層全体の応力降下量 Δσ	MPa	4.3	5.0	3.1	2.4
アスペリティの面積 S <sub>a</sub>	km <sup>2</sup>	373	506	300	175
アスペリティの応力降下量 Δσ <sub>a</sub>	MPa	15.7	13.5	14.1	18.7
アスペリティ面積比 S <sub>a</sub> /S		0.27	0.37	0.22	0.13

※方法3と方法5の短周期レベルはアスペリティの値

なお、方法3において、Fujii and Matsu'ura(2000)による右の関係式からM<sub>0</sub>を求めると1.69×10<sup>20</sup>(N・m)となる。しかしながら、この値は、横ずれ断層を対象にいくつかの条件下で導出されたΔσ=3.1MPaを用いた結果であり、縦ずれ断層である長岡平野西縁断層には適さないものと考えられる。

$$M_0 = \{WL^2/(aL + b)\} \cdot \Delta\sigma$$

W: 断層幅 (km)

L: 断層長さ (km)

a, b: 構造依存のパラメータ (数値計算により与えられる)

内陸の長大な横ずれ断層に対する関係式としては、W=15km、a=1.4×10<sup>-2</sup>、b=1.0を仮定した上で、収集した観測データに基づく回帰計算により、Δσ=3.1 (MPa) を導出している。

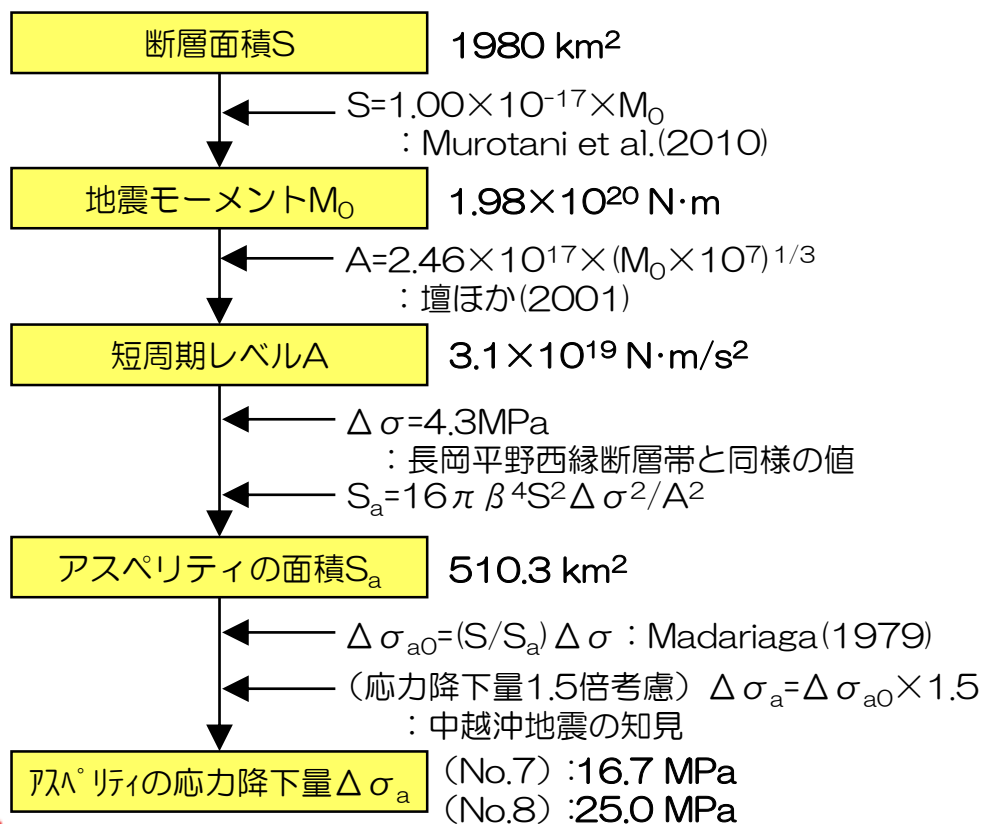
地震本部(2009)より抜粋 (一部加筆・修正)

# 断層パラメータの設定フロー

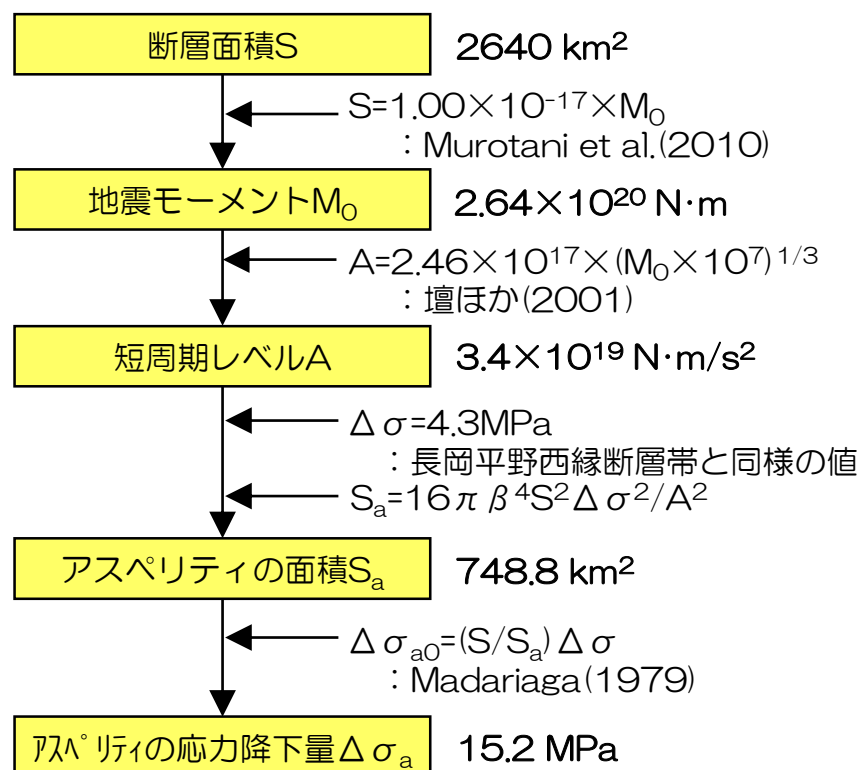
## 長岡平野西縁断層帯～十日町断層帯西部

- 微視的断層パラメータは、強震動予測レシピアおよび以下の考え方にに基づき設定。
  - ① 長大断層を対象としているMurotani et al.(2010)のスケーリングを採用。
  - ② 地震本部の長大断層の評価と同様、平均応力降下量を一定値と仮定。長岡平野西縁断層帯の評価で採用した4.3MPaと設定。

### 連動(No.7)、連動及び応力降下量(No.8)の不確かさ考慮



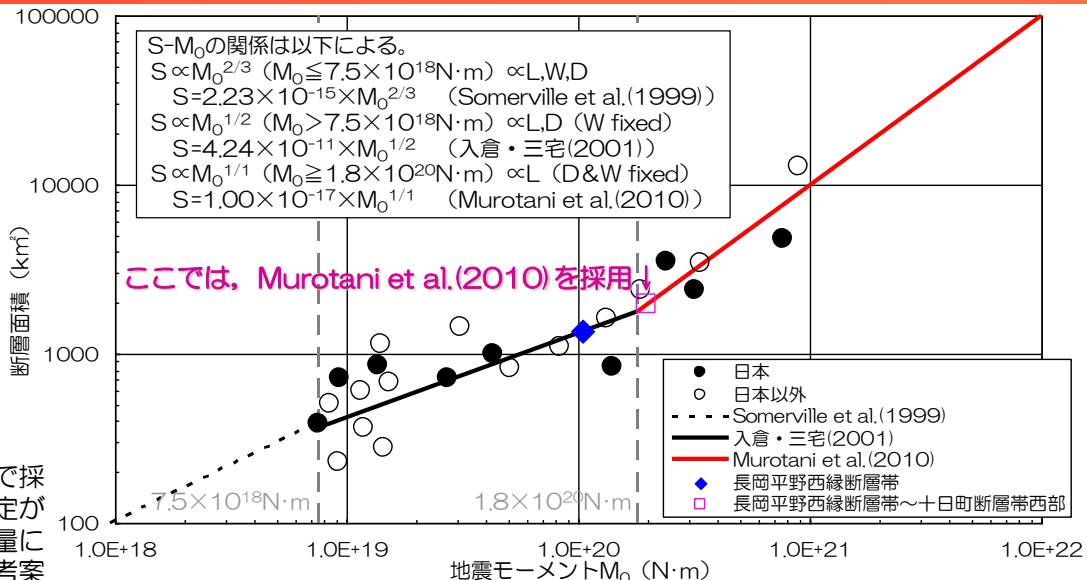
### 連動及び断層傾斜角の不確かさ考慮(No.9)



# 断層パラメータの設定手法について

## 長岡平野西縁断層帯～十日町断層帯西部

■ 長岡平野西縁断層帯～十日町断層帯西部は、断層長さが132kmの長大断層となるため、長岡平野西縁断層帯と同様、複数の方法で次のパラメータを設定し、その妥当性について検討。①断層面積S、②地震モーメント $M_0$ 、③短周期レベルA、④断層全体の応力降下量 $\Delta\sigma$ 、⑤アスペリティの面積 $S_a$ 、⑥アスペリティの応力降下量 $\Delta\sigma_a$



長岡平野西縁断層帯の評価で採用した方法1ではモデル設定が困難なため、平均応力降下量に④'式を用いる方法1'を考案

用いる関係式は以下のとおり。

入倉・三宅(2001):

$$M_0 = (S/4.24 \times 10^{11})^2 \times 10^{-7} \quad \dots (1) \text{式}$$

壇ほか(2001):

$$A = 2.46 \times 10^{17} \times (M_0 \times 10^7)^{1/3} \quad \dots (2) \text{式}$$

Somerville et al.(1999):

$$S_a = 0.22 S \quad \dots (3) \text{式}$$

無限長の地表垂直ずれ断層の式:

$$\Delta\sigma = 8/(3\pi) M_0 / (LW^2) \quad \dots (4) \text{式}$$

円形クラックの式 (Eshelby(1957)):

$$\Delta\sigma = 7/16 \times M_0 / (S/\pi)^{1.5} \quad \dots (5) \text{式}$$

Fujii and Matsu'ura(2000):

$$\Delta\sigma = 3.1 \text{MPa} \quad \dots (6) \text{式}$$

$S_a = 16\pi \beta^4 S^2 \Delta\sigma^2 / A^2$

$$\dots (7) \text{式}$$

Madariaga(1979):

$$\Delta\sigma_a = (S/S_a) \Delta\sigma \quad \dots (8) \text{式}$$

壇ほか(2002):

$$A = 4\pi (S_a/\pi)^{0.5} \Delta\sigma_a \beta^2 \quad \dots (9) \text{式}$$

Murotani et al.(2010)

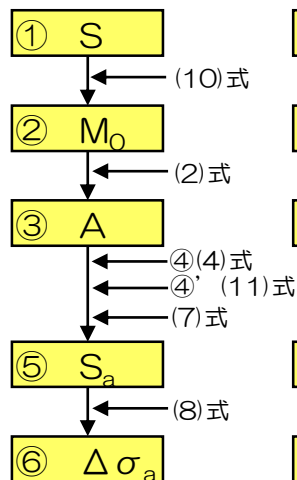
$$S = 1.00 \times 10^{-17} \times M_0^{1/1} \quad \dots (10) \text{式}$$

長岡平野西縁断層帯と同様の値

$$\Delta\sigma = 4.3 \text{MPa} \quad \dots (11) \text{式}$$

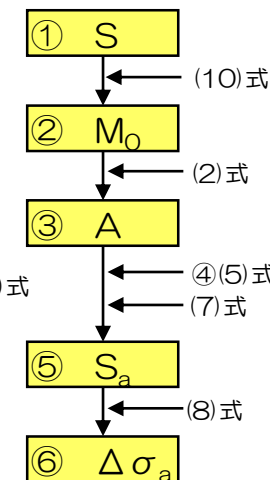
### 方法1,1'

長岡平野西縁断層帯と同様の平均応力降下量を用いた方法



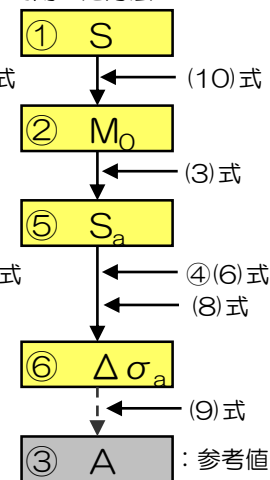
### 方法2

円形クラックの式を用いた方法



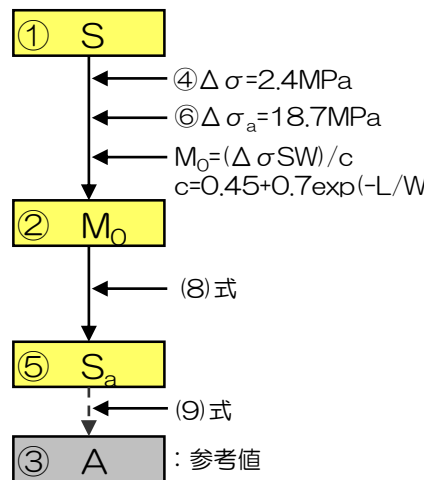
### 方法3

地震本部(2005)が山崎断層(横ずれ)の評価で用いた方法



### 方法5

壇ほか(2015)による方法



# 断層パラメータの設定手法について

## 長岡平野西縁断層帯～十日町断層帯西部

- 断層傾斜角50°を仮定し、それぞれの方法で設定したパラメータを下表に示す。
- アスペリティの応力降下量（他の方法と比較し、やや大きめあるいは同程度であること）及びアスペリティ面積比（15%～27%程度）から方法1'を採用。

パラメータ	単位	採用				
		方法1	方法1'	方法2	方法3	方法5
断層長さ L	km	132	132	132	132	132
断層幅 W	km	15	15	15	15	15
断層面積 S	km <sup>2</sup>	1980	1980	1980	1980	1980
地震モーメント M <sub>0</sub>	N・m	1.98×10 <sup>20</sup>	1.98×10 <sup>20</sup>	1.98×10 <sup>20</sup>	1.98×10 <sup>20</sup>	1.58×10 <sup>20</sup>
短周期レベル A	N・m/s <sup>2</sup>	3.09×10 <sup>19</sup>	3.09×10 <sup>19</sup>	3.09×10 <sup>19</sup>	2.41×10 <sup>19</sup>	2.44×10 <sup>19</sup>
断層全体の応力降下量 Δσ	MPa	5.7	4.3	5.5	3.1	2.4
アスペリティの面積 S <sub>a</sub>	km <sup>2</sup>	884	510	827	436	254
アスペリティの応力降下量 Δσ <sub>a</sub>	MPa	12.7	16.7	13.1	14.1	18.7
アスペリティ面積比 S <sub>a</sub> /S		0.45	0.26	0.42	0.22	0.13

※方法3と方法5の短周期レベルはアスペリティの値

なお、方法3において、Fujii and Matsu'ura(2000)による右の関係式からM<sub>0</sub>を求めると2.84×10<sup>20</sup>(N・m)となる。しかしながら、この値は、横ずれ断層を対象にいくつかの条件下で導出されたΔσ=3.1MPaを用いた結果であり、縦ずれ断層である長岡平野西縁断層～十日町断層帯西部には適さないものと考えられる。

$$M_0 = \{WL^2/(aL + b)\} \cdot \Delta\sigma$$

W: 断層幅 (km)

L: 断層長さ (km)

a, b: 構造依存のパラメータ (数値計算により与えられる)

内陸の長大な横ずれ断層に対する関係式としては、W=15km、a=1.4×10<sup>-2</sup>、b=1.0を仮定した上で、収集した観測データに基づく回帰計算により、Δσ=3.1 (MPa) を導出している。

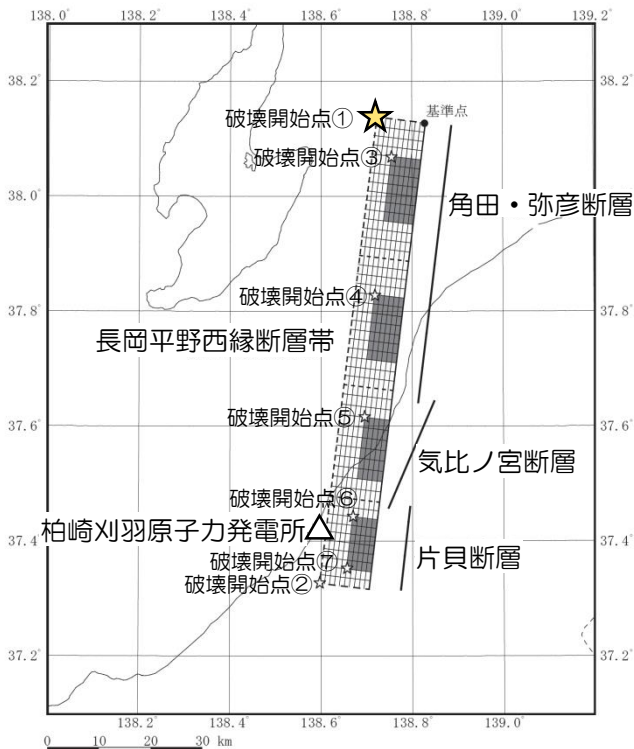
地震本部(2009)より抜粋 (一部加筆・修正)

# 長岡平野西縁断層帯 (断層長さ91km)

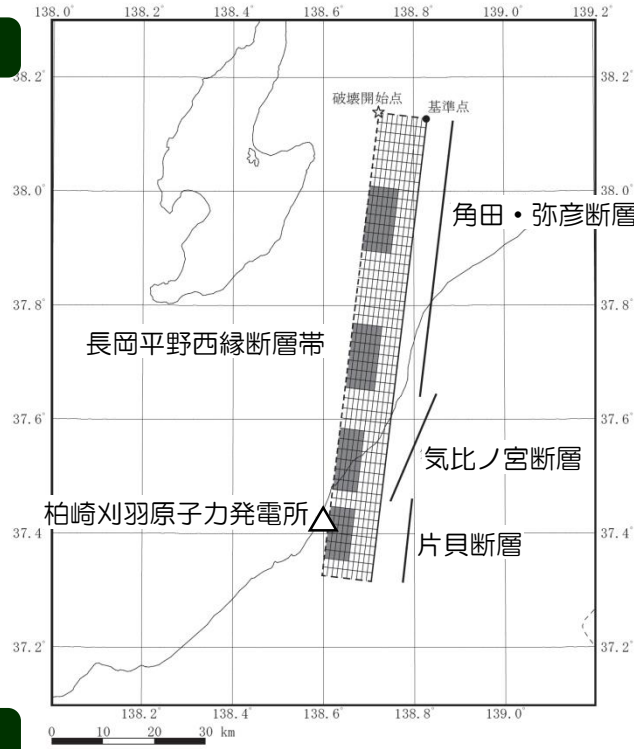
長岡平野西縁断層帯(No.1), 破壊開始点(No.2), 破壊伝播速度(No.4), 応力降下量 (No.5)の不確かさ考慮

アスペリティ位置の不確かさ考慮(No.3)

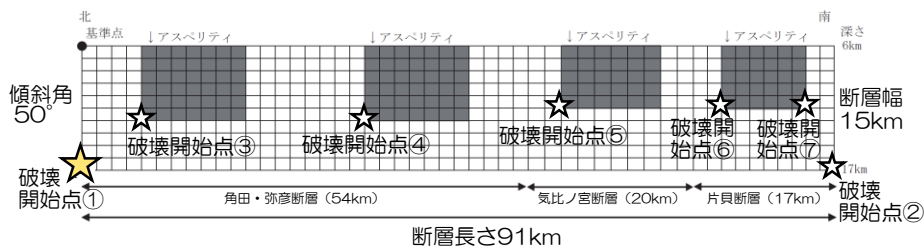
平面図



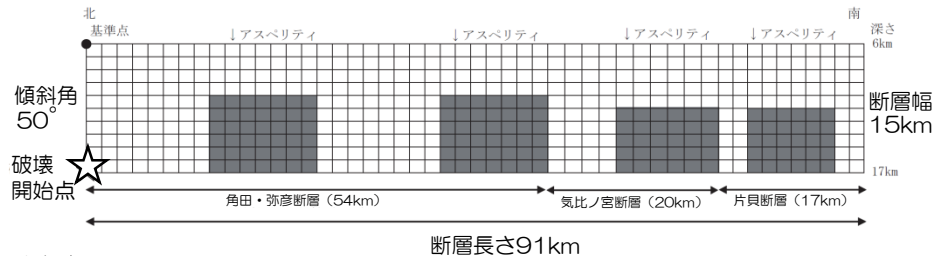
平面図



断面図



断面図



※破壊開始点②～⑦についてはNo.1で影響を確認した上で以降の評価では省略

# 震源モデルの設定 断層パラメータ

## 長岡平野西縁断層帯 (断層長さ91km)

長岡平野西縁断層帯 (No.1), 破壊開始点 (No.2), アスペリティ位置 (No.3), 破壊伝播速度 (No.4) 及び応力降下量 (No.5) の不確かさ考慮

項目			設定値				
			長岡平野西縁断層帯(全体)	角田・弥彦断層(北部)	角田・弥彦断層(南部)	気比ノ宮断層	片貝断層
巨視的断層面	基準点	東経(°)	138.83	138.83	138.79	138.76	138.73
		北緯(°)	38.13	38.13	37.89	37.65	37.47
	断層上端深さ(km)		6				
	断層長さ(km)		91	27	27	20	17
	断層幅(km)		15				
	断層面積(km <sup>2</sup> )		1365	405	405	300	255
	走向(°)		187				
	傾斜角(°)		50				
	S波速度(km/s)		3.4				
		破壊伝播速度(km/s)	0.72Vs	2.4			
不確かさ			—	2.4	2.4	2.4	3.1
地震モーメント(N・m)		1.0×10 <sup>20</sup>	3.1×10 <sup>19</sup>	3.1×10 <sup>19</sup>	2.3×10 <sup>19</sup>	1.9×10 <sup>19</sup>	
アスペリティ	面積(km <sup>2</sup> )		373	111	111	82	70
	地震モーメント(N・m)		5.7×10 <sup>19</sup>	1.7×10 <sup>19</sup>	1.7×10 <sup>19</sup>	1.2×10 <sup>19</sup>	1.1×10 <sup>19</sup>
	平均すべり量(cm)		487				
	応力降下量(MPa)	レシピ	15.7				
1.5倍		23.6					
背景領域	面積(km <sup>2</sup> )		992	294	294	218	185
	地震モーメント(N・m)		4.7×10 <sup>19</sup>	1.4×10 <sup>19</sup>	1.4×10 <sup>19</sup>	1.0×10 <sup>19</sup>	8.8×10 <sup>18</sup>
	平均すべり量(cm)		152				
	実効応力(MPa)	レシピ	3.2	3.4	3.4	3.0	2.7
1.5倍		4.9	5.2	5.2	4.4	4.1	

□ : 地質調査結果等に基づく

□ : 強震動予測レシピに基づく

□ : 中越沖地震の知見を反映し, 破壊伝播速度3.1km/sを考慮 (No.4で考慮)

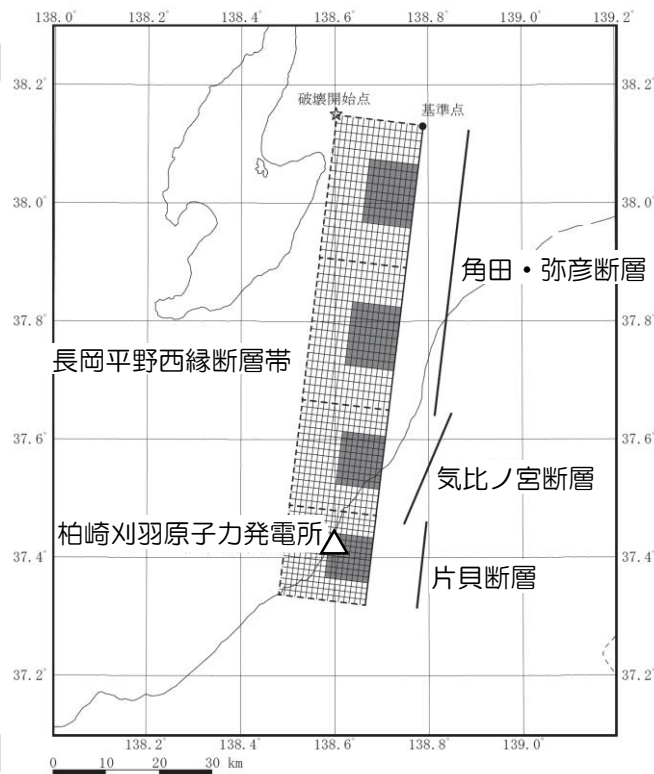
□ : 中越沖地震の知見を反映し, 設定した応力降下量の1.5倍を考慮 (No.5で考慮)



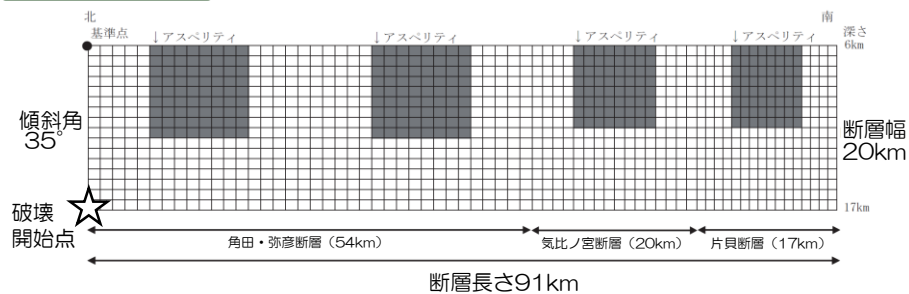
# 震源モデルの設定 長岡平野西縁断層帯 (断層長さ91km)

断層傾斜角の不確かさ考慮  
(No.6)

平面図



断面図



# 震源モデルの設定 断層パラメータ

## 長岡平野西縁断層帯（断層長さ91km）

### 断層傾斜角の不確かさ考慮 (No.6)

項目			設定値				
			長岡平野西縁断層帯(全体)	角田・弥彦断層(北部)	角田・弥彦断層(南部)	気比ノ宮断層	片貝断層
巨視的断層面	基準点	東経(°)	138.79	138.79	138.75	138.72	138.69
		北緯(°)	38.13	38.13	37.89	37.65	37.47
	断層上端深さ(km)		6				
	断層長さ(km)		91	27	27	20	17
	断層幅(km)		20				
	断層面積(km <sup>2</sup> )		1820	540	540	400	340
	走向(°)		187				
	傾斜角(°)		35				
	S波速度(km/s)		3.4				
	破壊伝播速度(km/s)		2.4				
	地震モーメント(N・m)		$1.8 \times 10^{20}$	$5.5 \times 10^{19}$	$5.5 \times 10^{19}$	$4.1 \times 10^{19}$	$3.4 \times 10^{19}$
アスペリティ	面積(km <sup>2</sup> )		452	134	134	99	84
	地震モーメント(N・m)		$9.1 \times 10^{19}$	$2.7 \times 10^{19}$	$2.7 \times 10^{19}$	$2.0 \times 10^{19}$	$1.7 \times 10^{19}$
	平均すべり量(cm)		649				
	応力降下量(MPa)		17.3				
背景領域	面積(km <sup>2</sup> )		1368	406	406	301	256
	地震モーメント(N・m)		$9.3 \times 10^{19}$	$2.8 \times 10^{19}$	$2.8 \times 10^{19}$	$2.0 \times 10^{19}$	$1.7 \times 10^{19}$
	平均すべり量(cm)		217				
	実効応力(MPa)		3.1	3.4	3.4	2.9	2.7

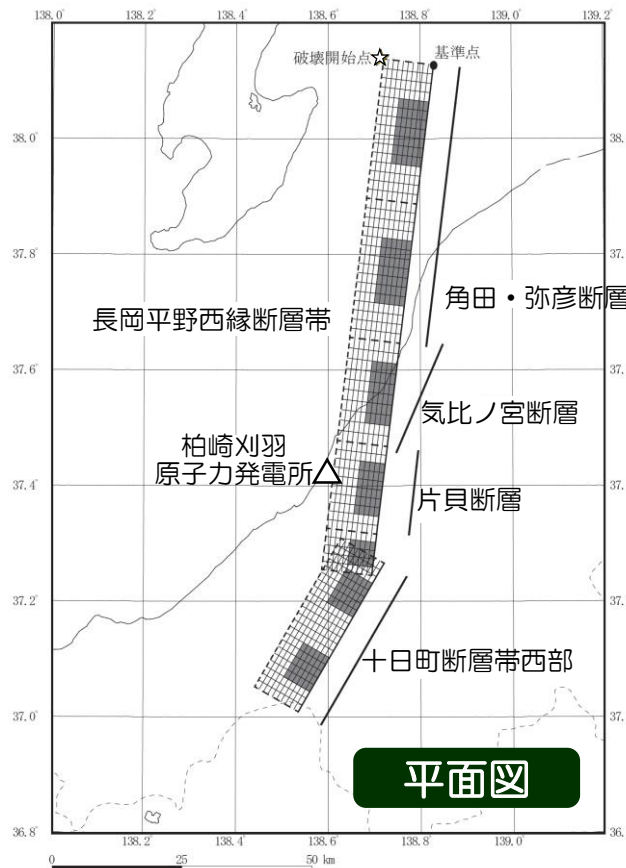
: 地質調査結果等に基づく  
 : 強震動予測レシビに基づく

# 震源モデルの設定

## 長岡平野西縁断層帯～十日町断層帯西部（断層長さ132km）

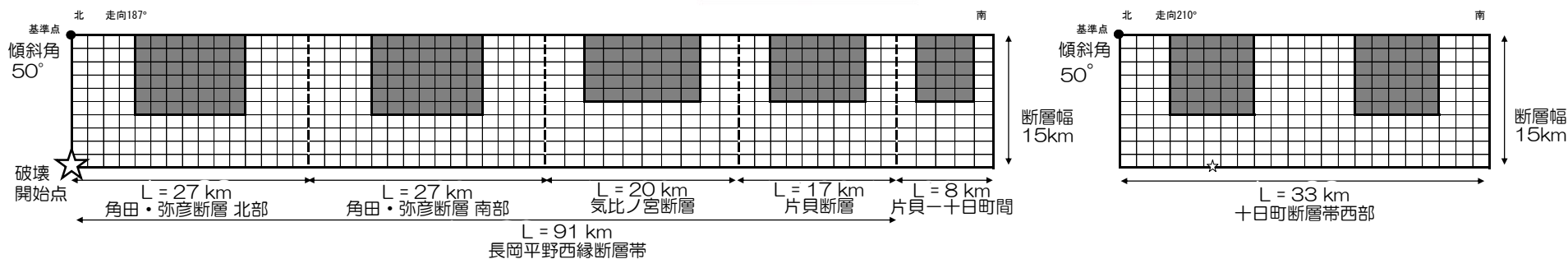
### 断層モデル

連動(No.7), 連動  
及び応力降下量  
(No.8)の不確かさ  
考慮



平面図

### 断面図



# 震源モデルの設定 断層パラメータ

## 長岡平野西縁断層帯～十日町断層帯西部（断層長さ132km）

連動(No.7), 連動及び応力降下量(No.8)の不確かさ考慮

項目			設定値						
			全体	長岡平野西縁断層帯（断層長さ91km）				長岡～十日町間（山本山断層）	十日町断層帯西部
				角田・弥彦断層(北部)	角田・弥彦断層(南部)	気比ノ宮断層	片貝断層		
巨視的断層面	基準点	東経(°)	138.83					138.72	
		北緯(°)	38.13					37.27	
	断層上端深さ(km)		6						
	断層長さ(km)		132	27	27	20	17	8	33
	断層幅(km)		15						
	断層面積(km <sup>2</sup> )		1980	405	405	300	255	120	495
	走向(°)		187					210	
	傾斜角(°)		50						
	S波速度(km/s)		3.4						
	破壊伝播速度(km/s)		2.4						
	アスペリティ	地震モーメント(×10 <sup>19</sup> N・m)		19.8	4.05	4.05	3.00	2.55	1.20
面積(km <sup>2</sup> )		510.3	104.4	104.4	77.3	65.7	30.9	127.6	
平均すべり量(cm)		641							
応力降下量(MPa)		連動	16.7						
		連動+1.5倍	25.0						
背景領域	面積(km <sup>2</sup> )		1469.7	300.6	300.6	222.7	189.3	89.1	367.4
	地震モーメント(×10 <sup>19</sup> N・m)		9.59	1.96	1.96	1.45	1.24	0.581	2.40
	平均すべり量(cm)		209						
	実効応力(MPa)	連動	3.4	3.7	3.7	3.2	2.9	2.0	4.1
		連動+1.5倍	5.1	5.6	5.6	4.8	4.4	3.0	6.2

■: 地質調査結果等に基づく

■: 強震動予測レシピに基づく

■: Murotani et al.(2010)に基づく

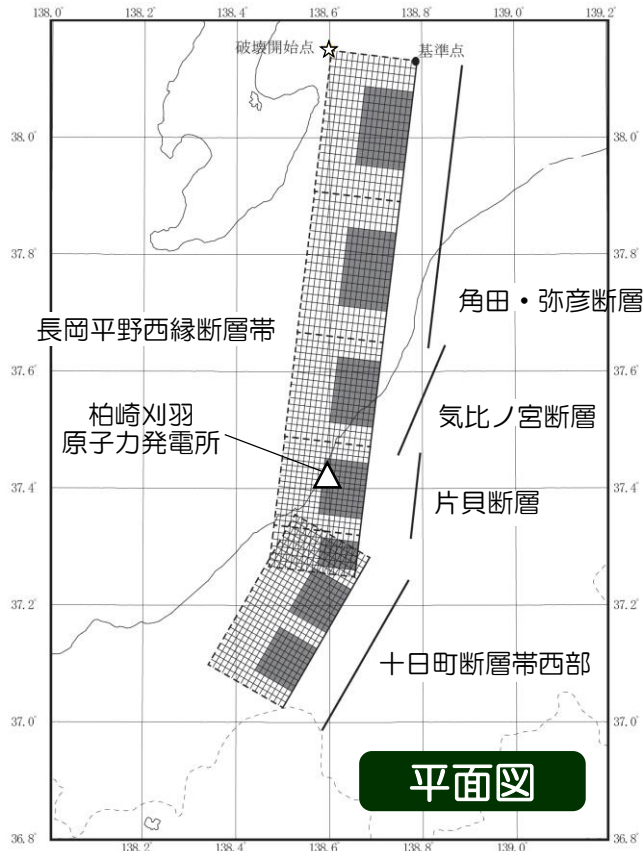
■: 中越沖地震の知見を反映し、設定した応力降下量の1.5倍を考慮(No.8で考慮)

# 震源モデルの設定

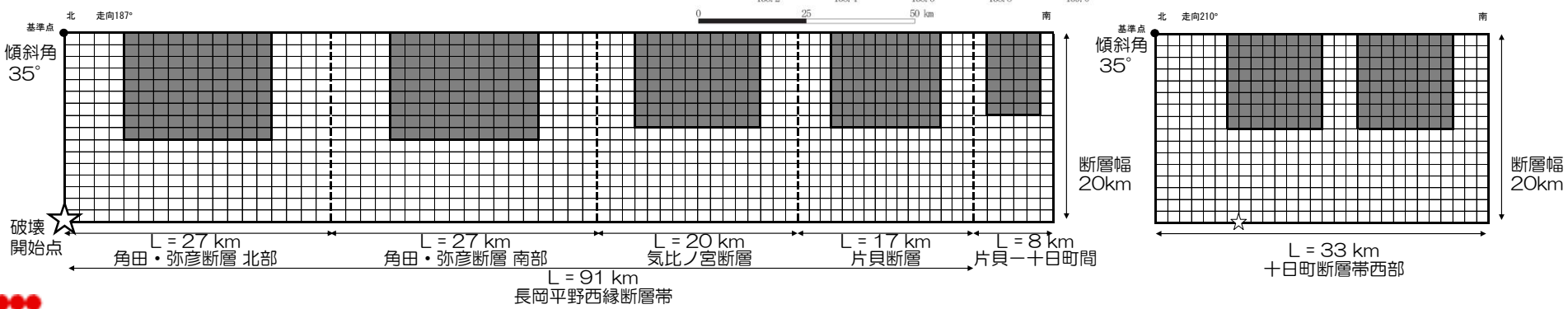
## 長岡平野西縁断層帯～十日町断層帯西部（断層長さ132km）

### 断層モデル

連動及び断層傾斜角の不確かさ考慮(No.9)



### 断面図



# 震源モデルの設定 断層パラメータ

## 長岡平野西縁断層帯～十日町断層帯西部（断層長さ132km）

### 連動及び断層傾斜角の不確かさ考慮(No.9)

項目		設定値						
		全体	長岡平野西縁断層帯（断層長さ91km）				長岡～十日町間（山本山断層）	十日町断層帯西部
			角田・弥彦断層(北部)	角田・弥彦断層(南部)	気比ノ宮断層	片貝断層		
巨視的断層面	基準点	東経(°)	138.79					138.69
		北緯(°)	38.13					37.28
	断層上端深さ(km)	6						
	断層長さ(km)	132	27	27	20	17	8	33
	断層幅(km)	20						
	断層面積(km <sup>2</sup> )	2640	540	540	400	340	160	660
	走向(°)	187					210	
	傾斜角(°)	35						
	S波速度(km/s)	3.4						
	破壊伝播速度(km/s)	2.4						
	アスペリティ	地震モーメント(×10 <sup>19</sup> N・m)	26.4	5.40	5.40	4.00	3.40	1.60
面積(km <sup>2</sup> )		748.8	153.2	153.2	113.5	96.4	45.4	187.2
平均すべり量(cm)		641						
応力降下量(MPa)		15.2						
背景領域	面積(km <sup>2</sup> )	1891.2	386.8	386.8	286.5	243.6	114.6	472.8
	地震モーメント(×10 <sup>19</sup> N・m)	11.4	2.34	2.34	1.73	1.47	0.692	2.86
	平均すべり量(cm)	194						
	実効応力(MPa)	2.6	2.8	2.8	2.4	2.3	1.5	3.1

■：地質調査結果等に基づく

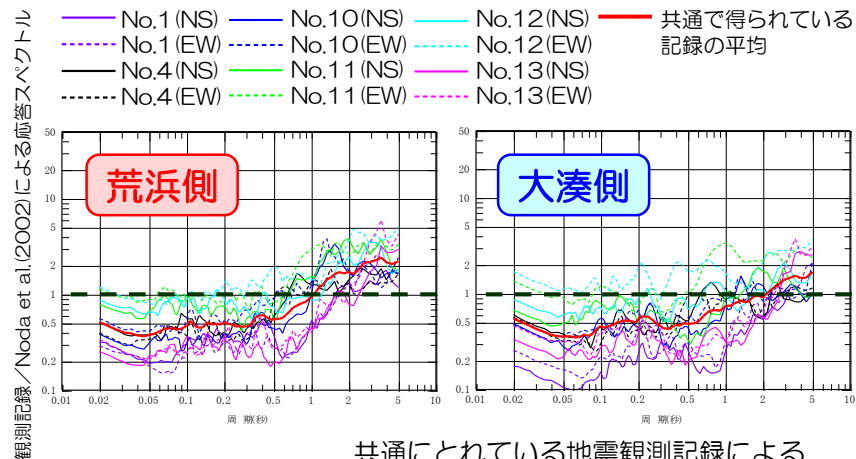
■：強震動予測レシビに基づく

■：Murotani et al.(2010)に基づく

1. 地震発生層の設定
2. 検討用地震の選定
  - 2.1 孤立した短い活断層
  - 2.2 副次的な断層等
  - 2.3 被害地震の選定
  - 2.4 検討用地震の選定
3. F-B断層による地震の地震動評価
  - 3.1 震源モデルの設定と不確かさの考え方
  - 3.2 応答スペクトルに基づく地震動評価
  - 3.3 断層モデルを用いた手法による地震動評価
  - 3.4 評価の妥当性に関する検討
4. 長岡平野西縁断層帯による地震の地震動評価
  - 4.1 震源モデルの設定と不確かさの考え方
  - 4.2 応答スペクトルに基づく地震動評価
  - 4.3 断層モデルを用いた手法による地震動評価
  - 4.4 評価の妥当性に関する検討
5. 基準地震動の策定
6. 佐渡島南方～魚津断層帯による地震の地震動評価

# 評価手法と観測記録に基づく補正係数

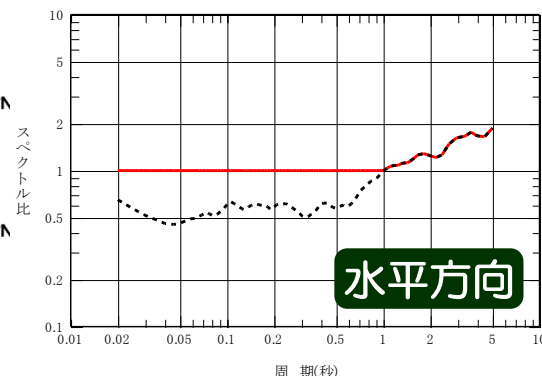
- 評価手法は、Noda et al.(2002)による手法を採用。
- 地震規模は、安全側の評価となるように松田式から算定。
- 地震波の伝播特性を反映するために、観測記録に基づく補正係数を考慮し、想定する地震と同一方向の陸域（中越地域）で発生した地震の解放基盤波とNoda et al.(2002)による応答スペクトルの比として設定。
- 応力降下量の不確かさは、補正係数の下限を1とし、短周期側の地震動レベルを嵩上げすることにより考慮。



共通にとれている地震観測記録によると、荒浜側と大湊側に大きな違いがないことを確認。

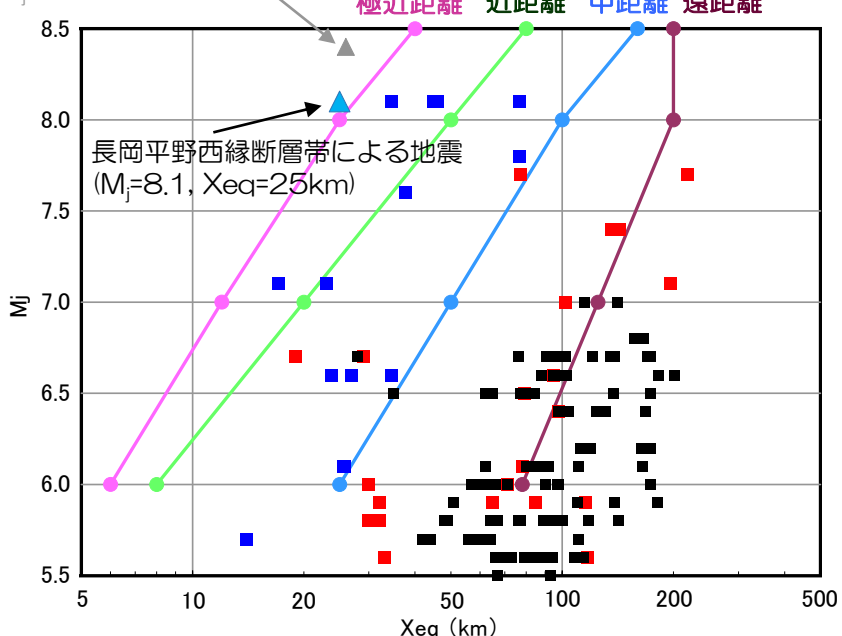
○の領域で発生した地震について、荒浜側・大湊側で得られた記録を用いて補正係数を評価。

- ..... 観測記録に基づく補正係数
- 応答スペクトル比の下限を1とした場合の補正係数→応力降下量の不確かさを考慮した場合に相当

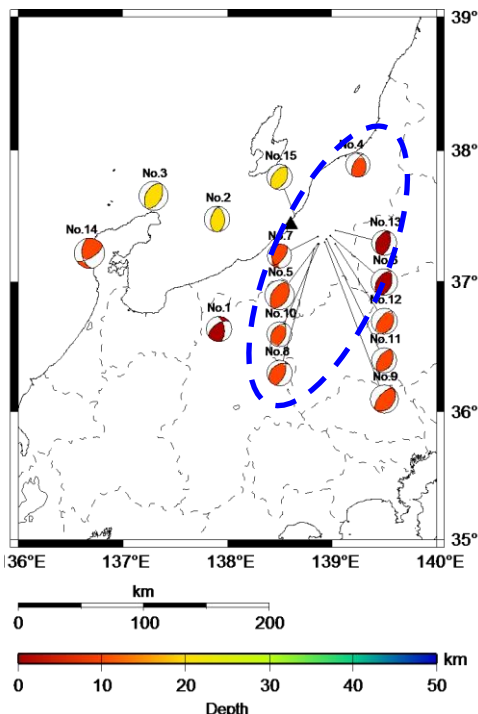


観測記録に基づく補正係数  
(荒浜側、大湊側で共通)

長岡平野西縁断層帯～十日町断層帯西部による地震 (M<sub>j</sub>=8.4, X<sub>eq</sub>=26km)



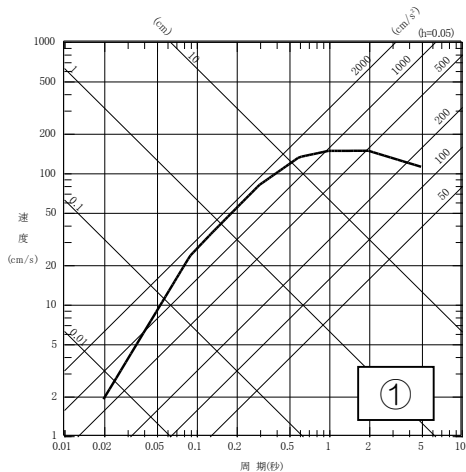
原子力安全委員会(2009)「応答スペクトルに基づく地震動評価」に関する専門家との意見交換会、資料第1-2号より抜粋（一部加筆・修正）



補正係数の算定に用いた地震の震央分布

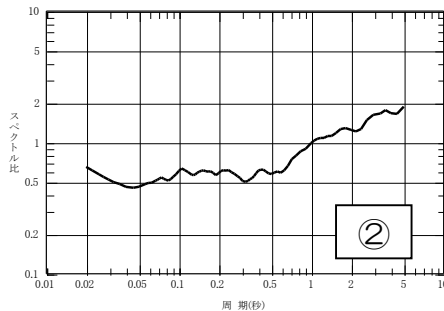


# 補正係数を用いた評価と地震動評価結果

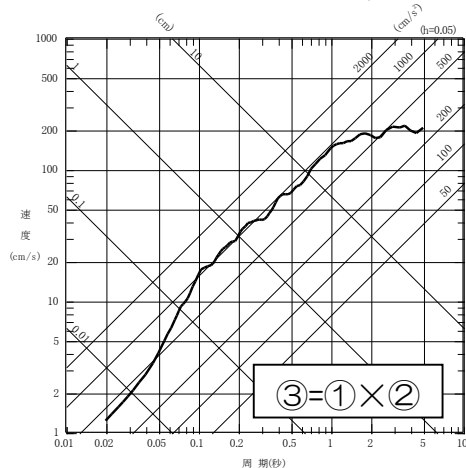


Noda et al.(2002)による評価  
長岡平野西縁断層帯による地震  
(M8.1, Xeq=25km)

## 算定フロー



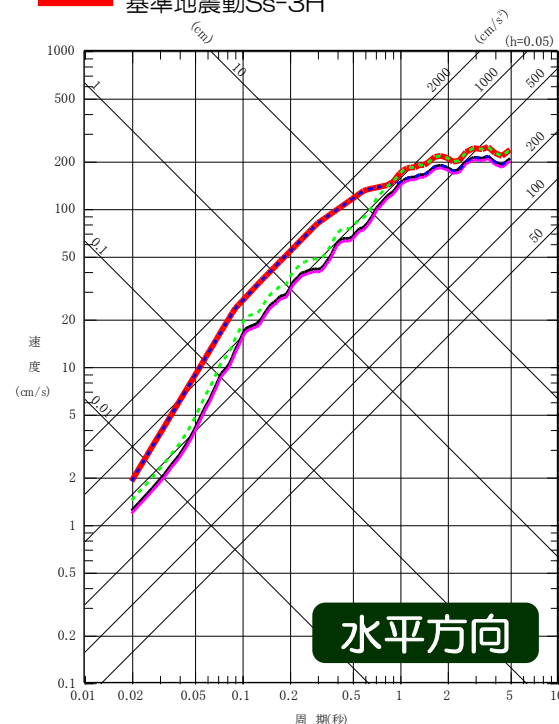
観測記録に基づく  
補正係数



※基本震源モデルの例。  
その他のモデルも同様に算定。

## 地震動評価結果

- No.1: 長岡平野西縁断層帯
- No.3: アスペリティ位置の不確かさ考慮
- - - No.5: 応力降下量の不確かさ考慮
- - - No.6: 断層傾斜角の不確かさ考慮
- 基準地震動Ss-3H



※凡例のNo.は検討ケースの一覧表による。  
なお、破壊開始点(No.2)、破壊伝播速度(No.4)の不確かさについては、応答スペクトルに基づく手法で評価することができないため断層モデルによる評価で影響を把握する。  
また、連動を考慮したケース(No.7~9)は、Noda et al.(2002)の適用範囲外であるため断層モデルによる評価を行う。

■ 短周期側では、応力降下量の不確かさ、長周期側では、断層傾斜角の不確かさの影響が大きい。

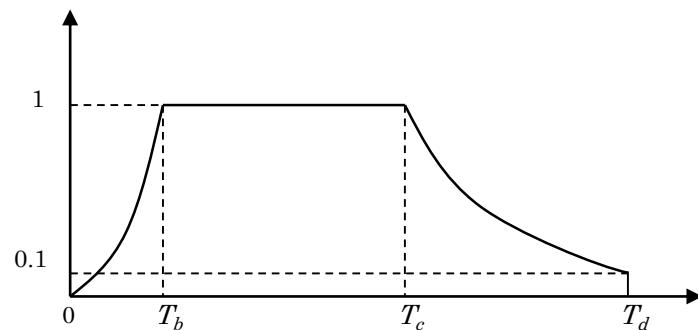
➡ No.5及びNo.6を包絡して設定した応答スペクトルを基準地震動Ss-3として策定 (図中の赤線)

# 模擬地震波の作成 (Ss-3)

- 応答スペクトルに適合する模擬地震波は、位相角を一様乱数とした正弦波を重ね合わせて、目標とする応答スペクトルに適合するように補正して作成する。
- 振幅包絡線の経時的变化については、Noda et al.(2002)に基づくものとする。

模擬地震波の振幅包絡線の経時的变化

地震規模 (M)	等価震源距離 (X <sub>eq</sub> ) (km)	振幅包絡線の経時的变化 (秒)		
		T <sub>b</sub>	T <sub>c</sub>	T <sub>d</sub>
8.1	25	13.18	40.10	74.13



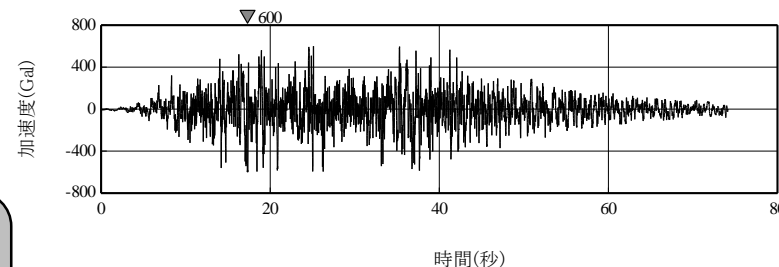
$$T_b = 10^{0.5M - 2.93}$$

$$T_c - T_b = 10^{0.3M - 1.0}$$

$$T_d - T_c = 10^{0.17M + 0.54 \log X_{eq} - 0.6}$$

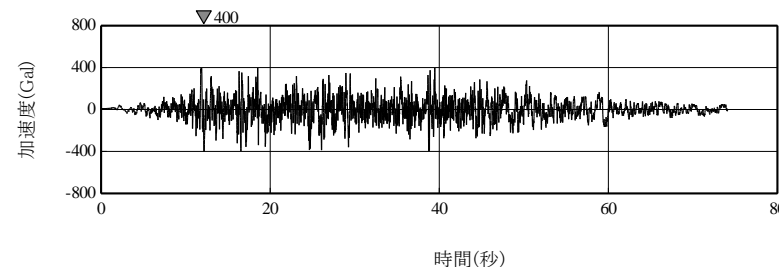
## 作成した模擬地震波

### 水平方向



荒浜側と  
大湊側で  
共通

### 鉛直方向

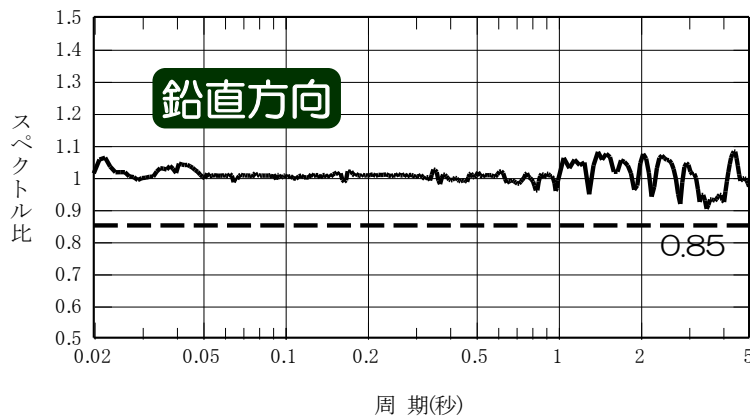
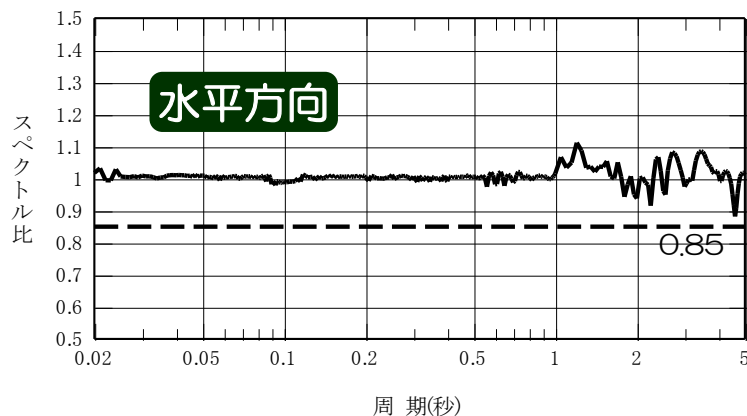


# 模擬地震波の作成 (Ss-3)

- 作成した模擬地震波は、日本電気協会(2008)による、以下の適合度の条件を満足していることを確認。
  - ① 目標とする応答スペクトル値に対する模擬地震波の応答スペクトル値の比が0.85以上
  - ② 応答スペクトル強さの比 (SI比) が1.0以上

目標とする応答スペクトル値に対する  
模擬地震波の応答スペクトル値の比

荒浜側と  
大湊側で  
共通



応答スペクトル強さの  
比 (SI比)

模擬地震波	作成結果	
	最大加速度 (Gal)	SI比
Ss-3H (共通)	600	1.01
Ss-3V (共通)	400	1.02

$$SI比 = \frac{\int_{0.1}^{2.5} S_v(T) dt}{\int_{0.1}^{2.5} \bar{S}_v(T) dt} : \text{応答スペクトル強さの比}$$

$S_v(T)$  : 模擬地震波の応答スペクトル (cm/s)

$\bar{S}_v(T)$  : 目標とする応答スペクトル (cm/s)

$T$  : 固有周期 (s)

## 1. 地震発生層の設定

## 2. 検討用地震の選定

- 2.1 孤立した短い活断層
- 2.2 副次的な断層等
- 2.3 被害地震の選定
- 2.4 検討用地震の選定

## 3. F-B断層による地震の地震動評価

- 3.1 震源モデルの設定と不確かさの考え方
- 3.2 応答スペクトルに基づく地震動評価
- 3.3 断層モデルを用いた手法による地震動評価
- 3.4 評価の妥当性に関する検討

## 4. 長岡平野西縁断層帯による地震の地震動評価

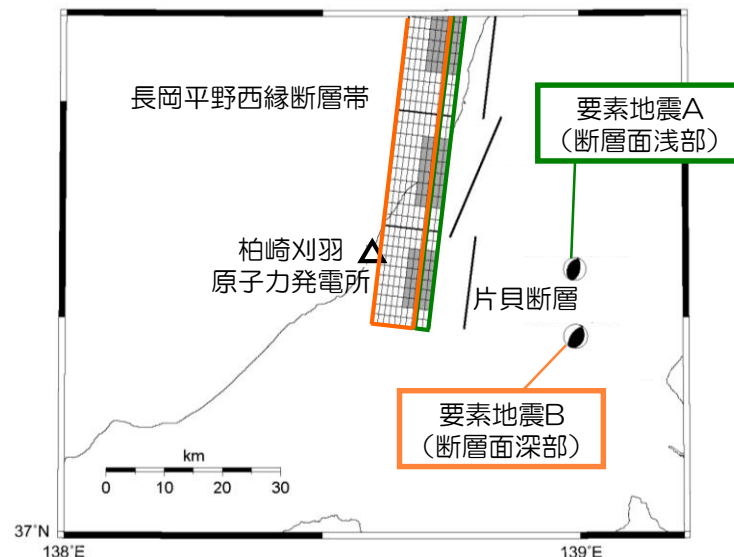
- 4.1 震源モデルの設定と不確かさの考え方
- 4.2 応答スペクトルに基づく地震動評価
- 4.3 断層モデルを用いた手法による地震動評価
- 4.4 評価の妥当性に関する検討

## 5. 基準地震動の策定

## 6. 佐渡島南方～魚津断層帯による地震の地震動評価

# 評価手法と要素地震

- 想定した震源域で発生した中小地震を要素地震とした経験的グリーン関数法で評価することにより、地震波の伝播特性を適切に反映。
- 要素地震は、中越地震の余震を採用。
- 中越地震の本震のシミュレーション結果をもとに、断層面の浅部と深部で適切な要素地震を採用。



## 要素地震の震源パラメータ

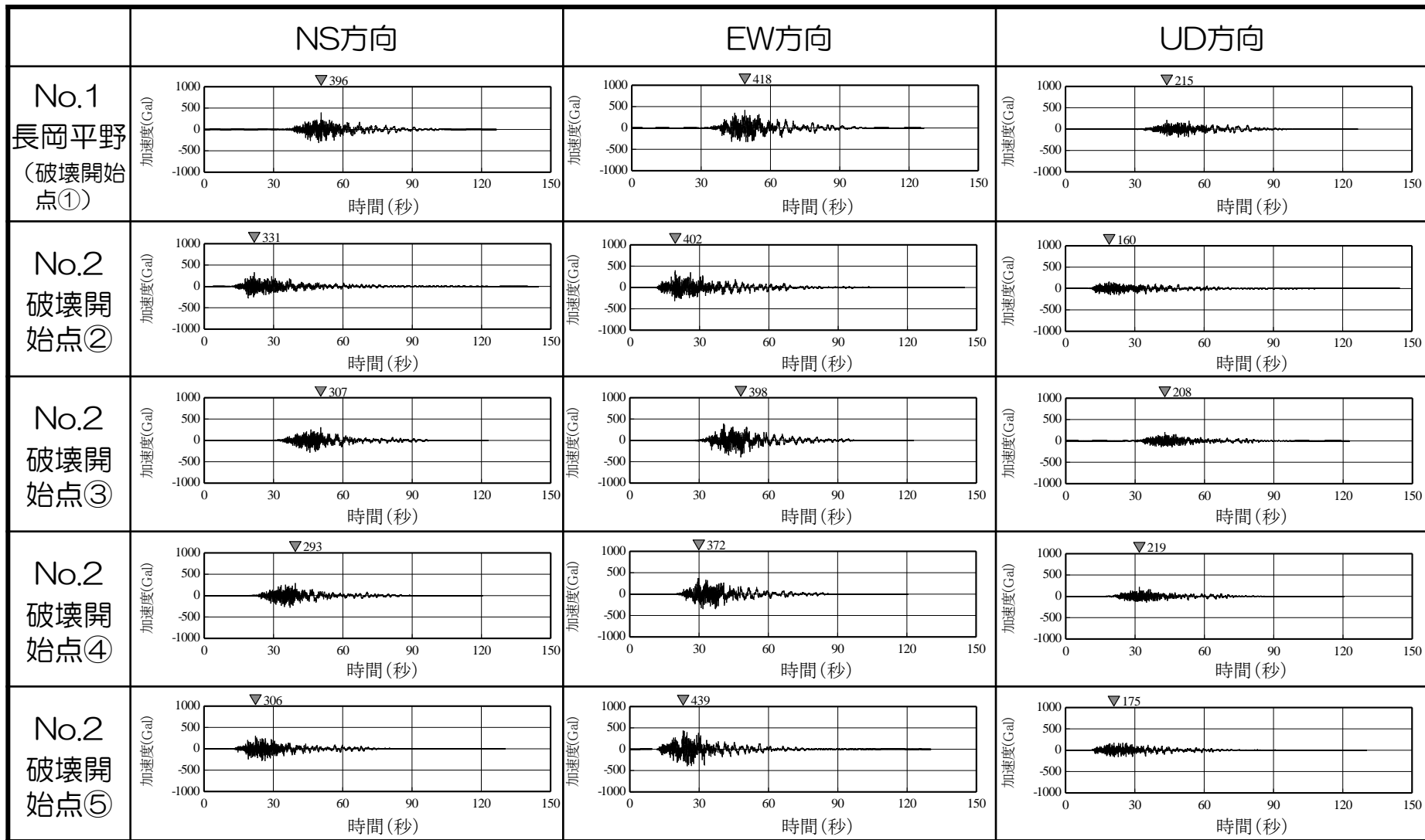
		要素地震A	要素地震B	備考
発生日時		2004/11/8 11:15	2004/10/27 10:40	気象庁
マグニチュード	$M_j$	5.9	6.1	気象庁
	$M_w$	5.5	5.8	F-net
震源位置	東経(°)	138.99	138.99	神原ほか(2006) <sup>*</sup>
	北緯(°)	37.41	37.31	神原ほか(2006) <sup>*</sup>
震源深さ(km)		0	11.60	気象庁
		5	11	F-net
走向(°)		13; 209	218; 18	F-net
傾斜(°)		53; 38	60; 32	F-net
すべり角(°)		80; 103	100; 73	F-net
地震モーメント(N·m)		$2.24 \times 10^{17}$	$6.34 \times 10^{17}$	F-net
コーナー周波数(Hz)		0.6	0.4	神原ほか(2006)
実効応力(MPa)		10.4	8.7	神原ほか(2006)
Q値		$76 f^{0.74}$	$76 f^{0.74}$	岩田ほか(2005)

注) 長岡平野西縁断層帯の傾斜角50°の断層モデル図にプロット

※日本測地系の座標を世界測地系に変換

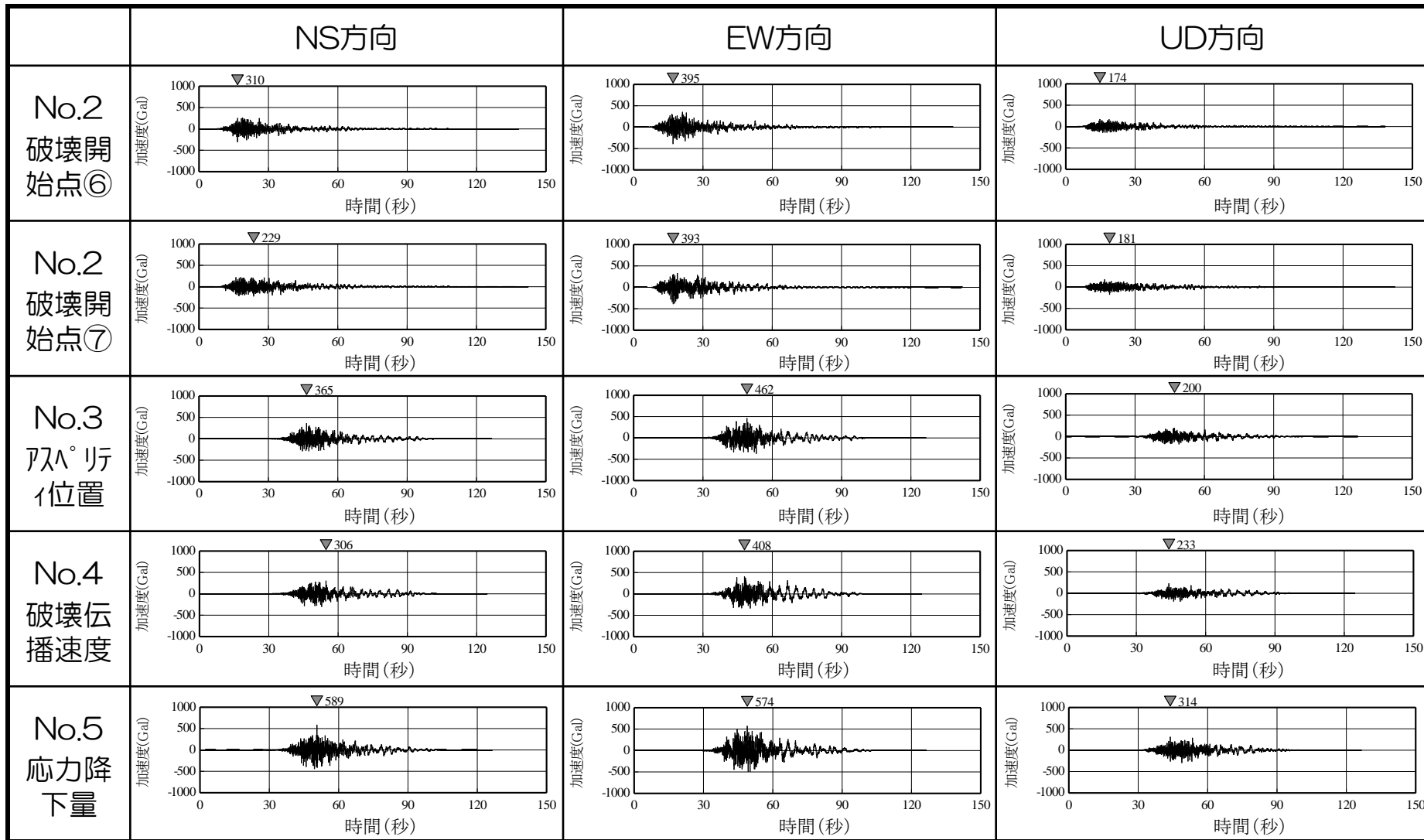
# 地震動評価結果 加速度時刻歴波形（その1）

荒浜側



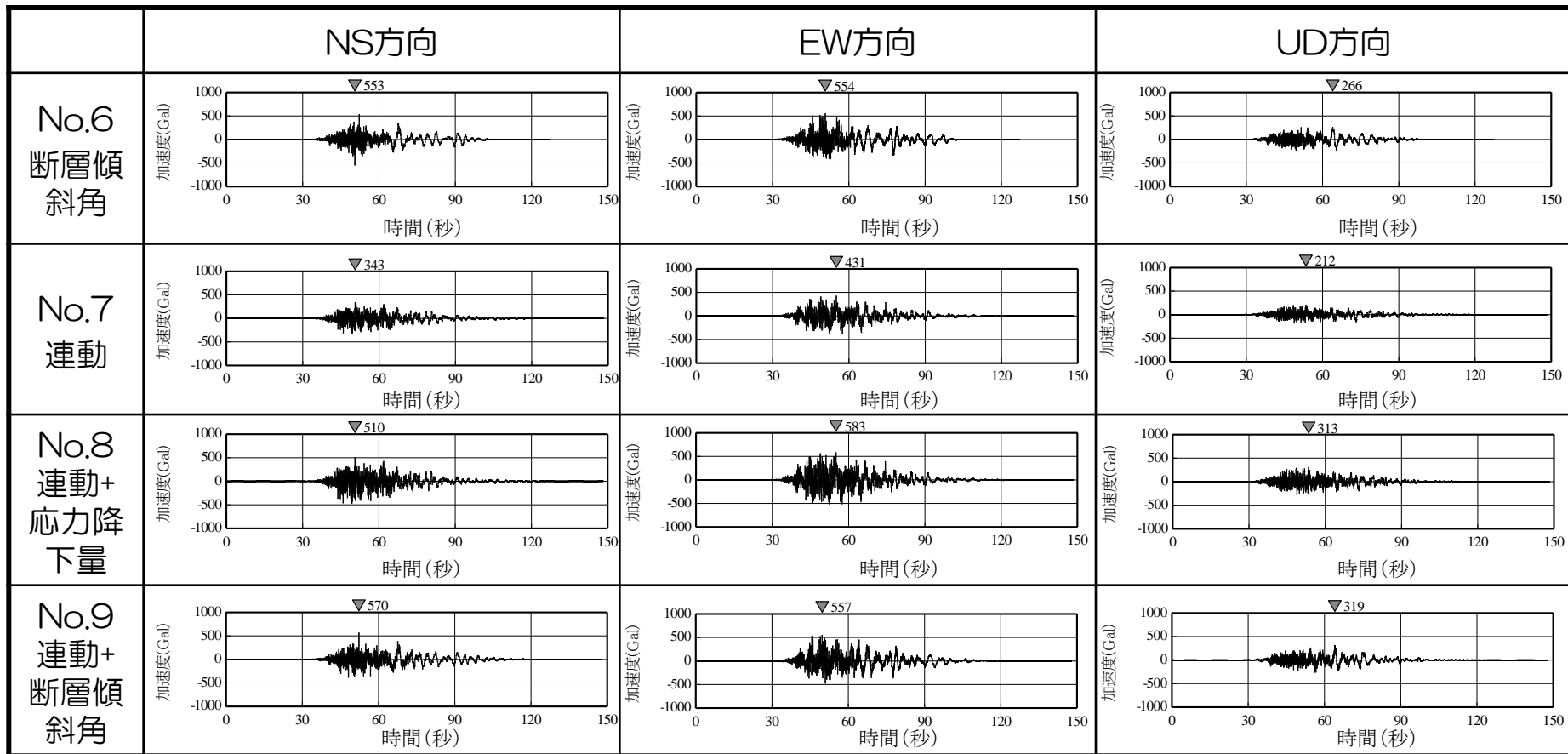
# 地震動評価結果 加速度時刻歴波形（その2）

荒浜側



# 地震動評価結果 加速度時刻歴波形（その3）

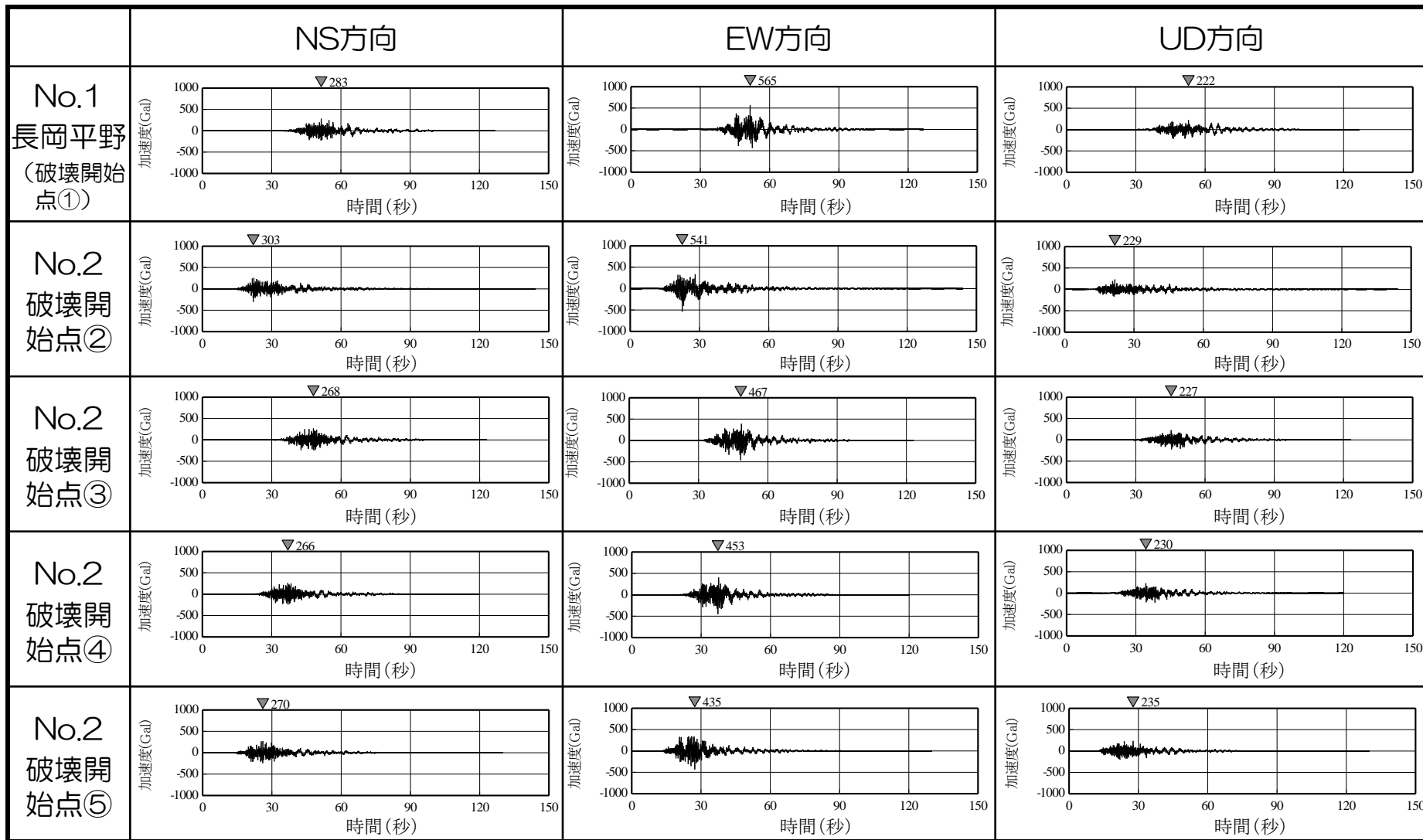
荒浜側





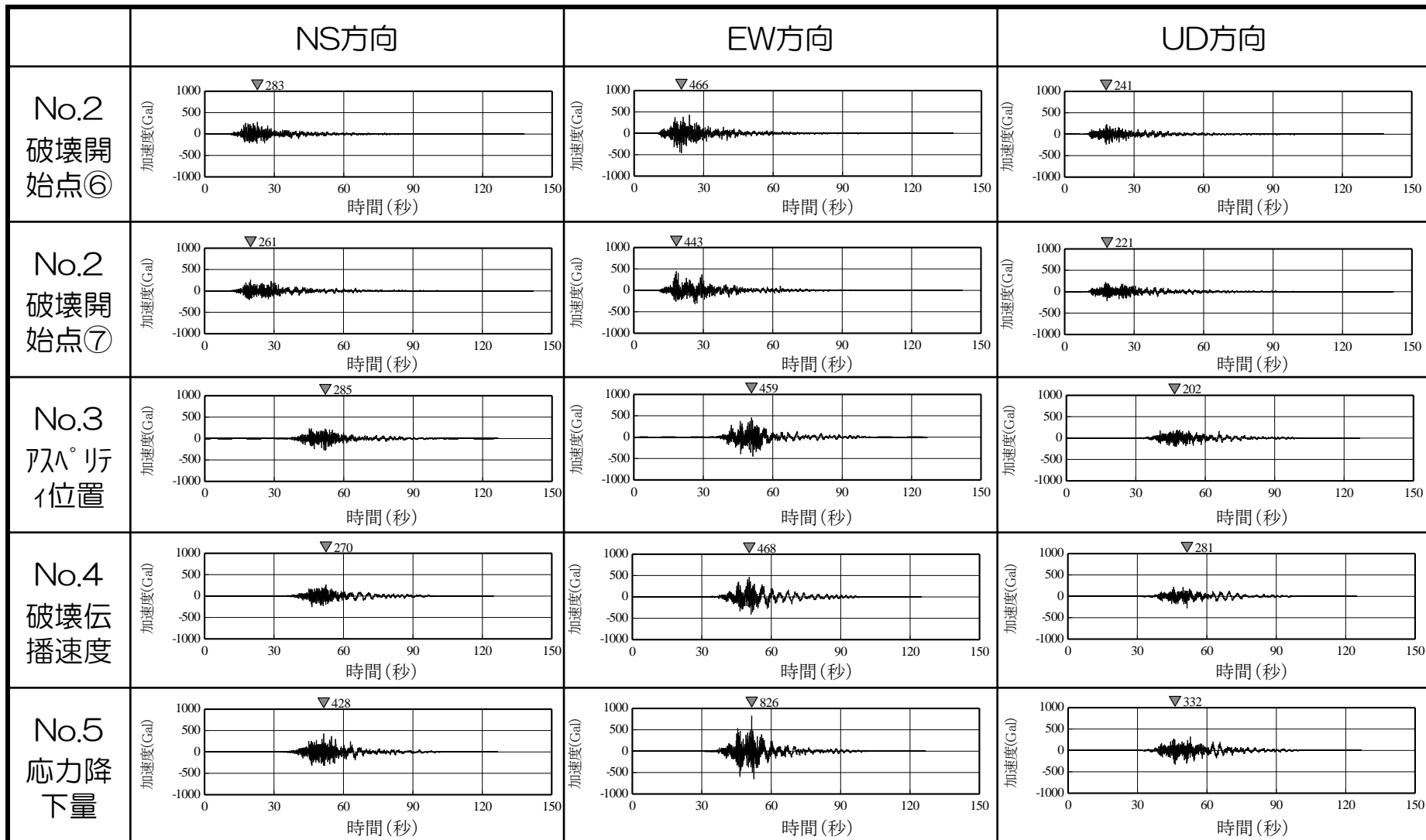
# 地震動評価結果 加速度時刻歴波形（その4）

## 大湊側



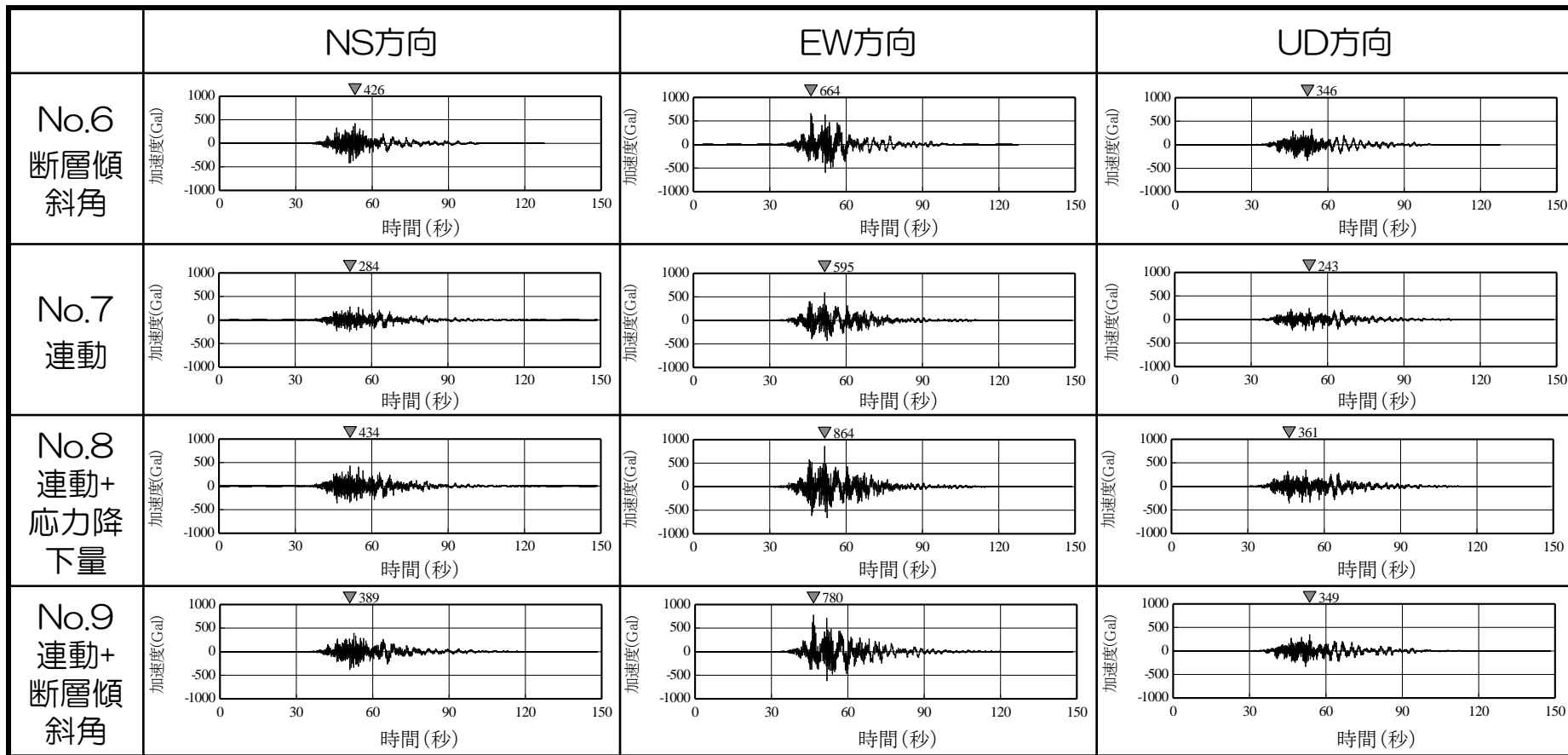
# 地震動評価結果 加速度時刻歴波形（その5）

大湊側



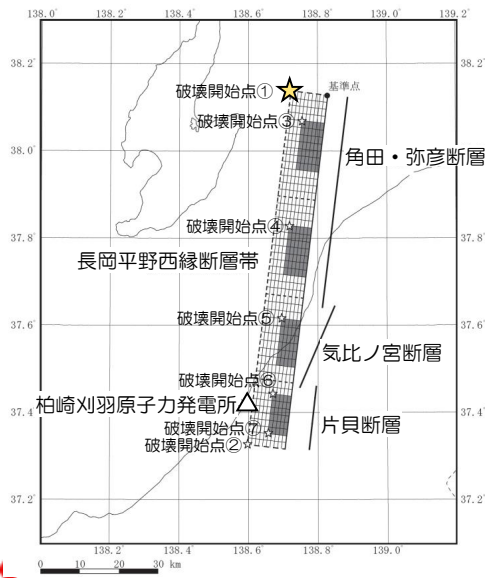
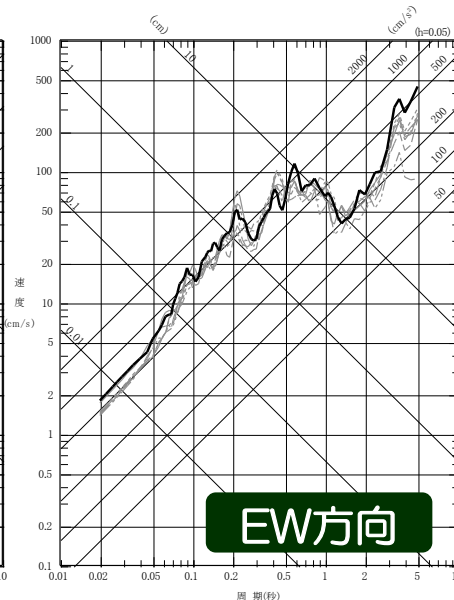
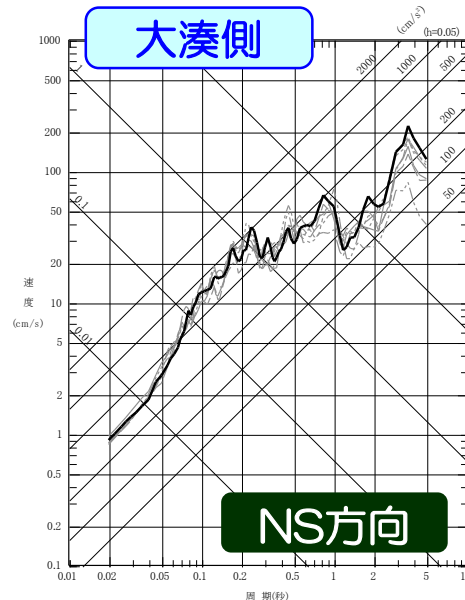
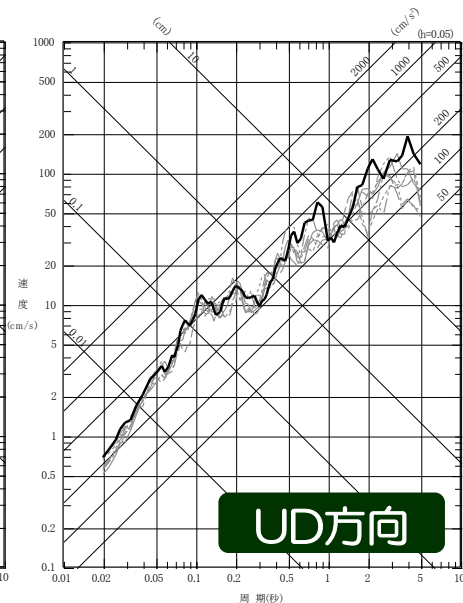
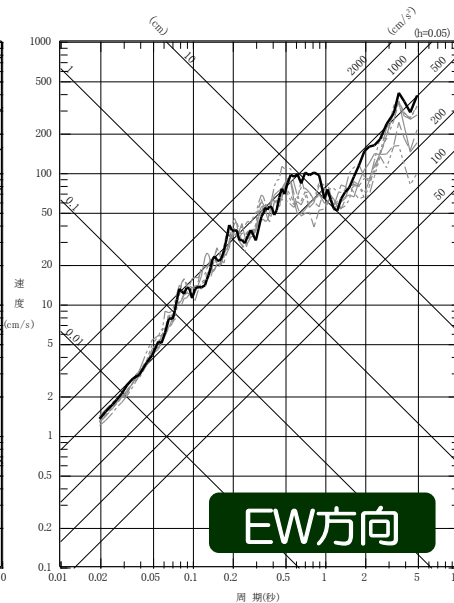
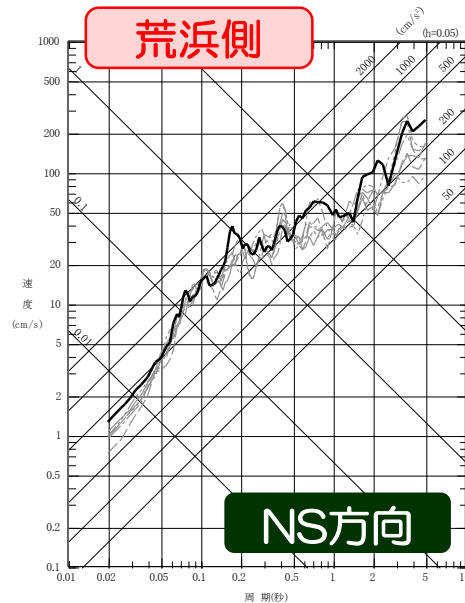
# 地震動評価結果 加速度時刻歴波形（その6）

## 大湊側



- 破壊開始点の不確かさの影響は短周期側で小さいことを確認。
- その他の不確かさケースでは、敷地への影響が長周期側で比較的大きい傾向にある巨視的断層面の北端部(①)に設定して評価を実施。

- No.1: 破壊開始点①
- No.2: 破壊開始点②
- - - No.2: 破壊開始点③
- · - No.2: 破壊開始点④
- · - No.2: 破壊開始点⑤
- · - No.2: 破壊開始点⑥
- · - No.2: 破壊開始点⑦

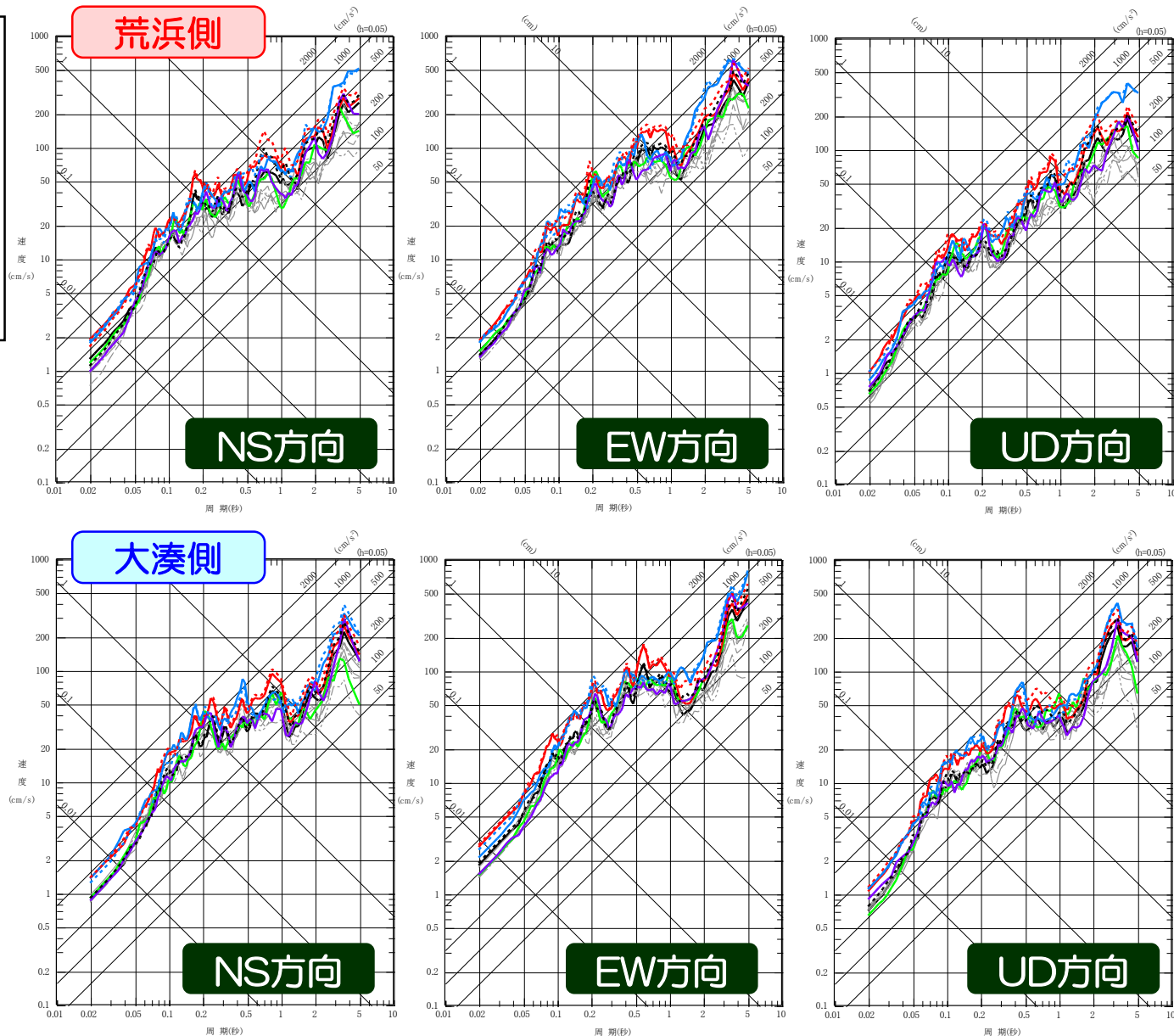


- 不確かさの影響は、応答スペクトルに基づく評価結果と概ね同様の傾向。
- 連動及び応力降下量の不確かさ考慮、連動及び断層傾斜角の不確かさ考慮のケースの影響が大きいことを確認。

- No.1 : 長岡平野西縁断層帯
- No.2 : 破壊開始点②~⑦
- No.3 : 断層位置
- No.4 : 破壊伝播速度
- No.5 : 応力降下量
- No.6 : 断層傾斜角
- - - No.7 : 連動
- - - No.8 : 連動+応力降下量
- - - No.9 : 連動+断層傾斜角



No.5を基準地震動Ss-4  
 No.6を基準地震動Ss-5  
 No.8を基準地震動Ss-6  
 No.9を基準地震動Ss-7  
 として策定



## 1. 地震発生層の設定

## 2. 検討用地震の選定

- 2.1 孤立した短い活断層
- 2.2 副次的な断層等
- 2.3 被害地震の選定
- 2.4 検討用地震の選定

## 3. F-B断層による地震の地震動評価

- 3.1 震源モデルの設定と不確かさの考え方
- 3.2 応答スペクトルに基づく地震動評価
- 3.3 断層モデルを用いた手法による地震動評価
- 3.4 評価の妥当性に関する検討

## 4. 長岡平野西縁断層帯による地震の地震動評価

- 4.1 震源モデルの設定と不確かさの考え方
- 4.2 応答スペクトルに基づく地震動評価
- 4.3 断層モデルを用いた手法による地震動評価
- 4.4 評価の妥当性に関する検討

## 5. 基準地震動の策定

## 6. 佐渡島南方～魚津断層帯による地震の地震動評価

# 評価の妥当性に関する検討

■ 評価の妥当性を確認する目的で、中越地震の震源モデルを用いたシミュレーション解析等、以下の検討を実施。

## ①中越地震のシミュレーション解析

- a. 経験的グリーン関数法（EGF）
- b. 統計的グリーン関数法（SGF）

## ②要素地震に関する検討

- a. スペクトルインバージョンによる要素地震の再見積もり及び影響確認
- b. 1つの要素地震を用いたケース
- c. 角田・弥彦及び気比ノ宮断層（北部の断層）の要素地震を変更したケース
- d. 要素地震に関する検討のまとめ

## ③まとめ

# 評価の妥当性に関する検討

## ①中越地震のシミュレーション解析

- a. 経験的グリーン関数法（EGF）
- b. 統計的グリーン関数法（SGF）

## ②要素地震に関する検討

- a. スペクトルインバージョンによる要素地震の再見積もり及び影響確認
- b. 1つの要素地震を用いたケース
- c. 角田・弥彦及び気比ノ宮断層（北部の断層）の要素地震を変更したケース
- d. 要素地震に関する検討のまとめ

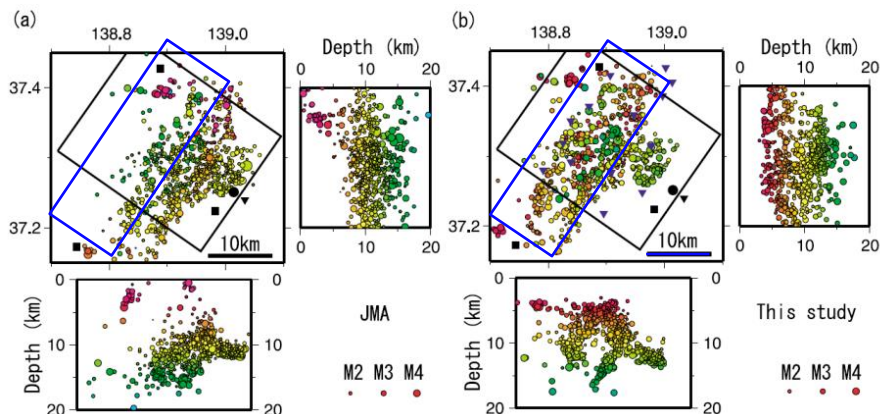
## ③まとめ



# シミュレーション解析に用いる震源モデル

## 神原ほか(2006)

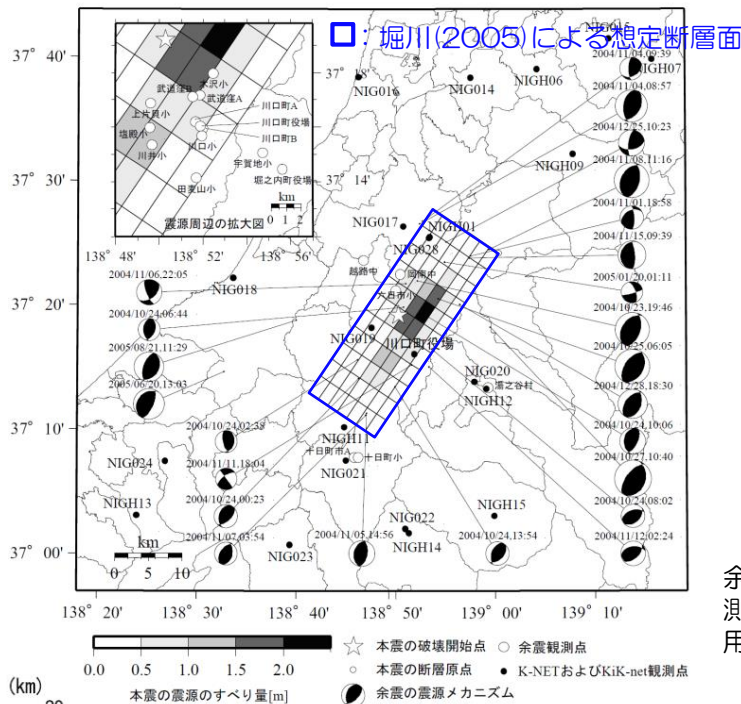
- 2004年新潟県中越地震の地震動を経験的グリーン関数法により再現。
- 震源モデルは堀川(2005)を参考に設定。Sakai et al.(2005)による余震記録の詳細な分析から明らかになった余震の震源位置の気象庁一元化震源(JMA)からのずれを考慮している点を重視。
- 要素地震についても、Sakai et al.(2005)の知見を踏まえ、気象庁一元化震源から西北西に約4kmずらした震央位置を使用。



□: 堀川(2005)による想定断層面

気象庁一元化震源(a)と緊急余震観測点を用いて決めた震源(b)

Sakai et al.(2005)より抜粋 (一部加筆・修正)



余震観測点、既存の地震観測点および地震動の計算で用いた要素地震の震源と本震の震源モデルの位置

本震の震源パラメータ

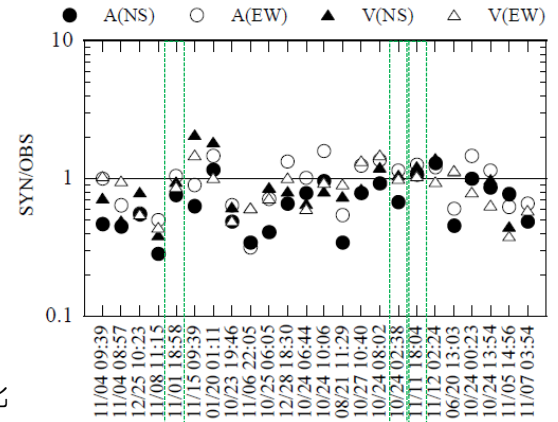
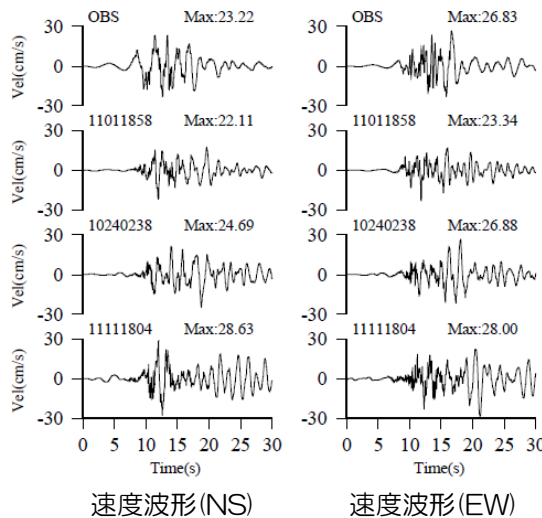
パラメータ		設定値
断層原点	東経(°)	139° 0' 23"
	北緯(°)	37° 24' 12"
断層上端深さ(km)		0.2
断層長さ(km)		31
断層幅(km)		20
断層面積(km <sup>2</sup> )		620
走向(°)		214
傾斜角(°)		56
S波速度(km/s)		3.4
破壊伝播速度(km/s)		2.45
地震モーメント(N·m)		8.17×10 <sup>18</sup>
平均すべり量(cm)		43.8
平均応力降下量(MPa)		1.29

# 神原ほか(2006)の概要

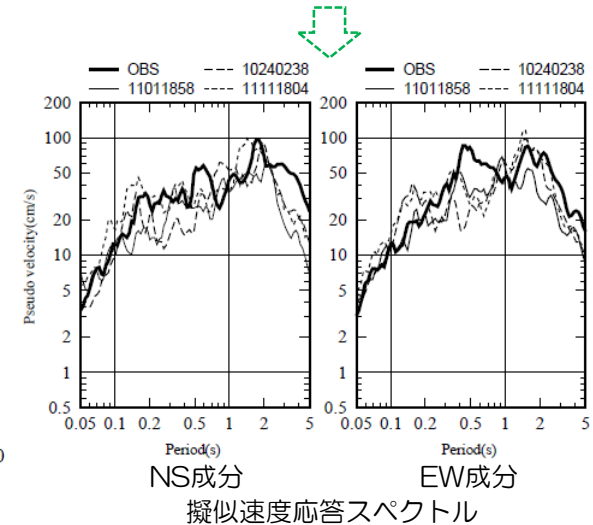
- 24地震をそれぞれ要素地震として本震の地震動を推定。その中で最大値加速度および最大速度の再現性が高い3地震の合成波形や応答スペクトルを示している。
- 3地震のいずれを要素地震とした場合でも、観測記録を精度良く再現できることを確認。

No.	発震時刻	モーメント マグニ チュード Mw	震源位置			地震 モーメント M <sub>0</sub> [dyne-cm]	臨界 振動数 f <sub>c</sub> [Hz]	実効 応力 σ [MPa]
			北緯 [°]	東経 [°]	深さ [Km]			
1	2004/10/23,19:45	5.5	37.308	138.834	8	1.78×10 <sup>24</sup>	0.6	8.2
2	2004/10/24,00:23	3.8	37.235	138.771	5	5.14×10 <sup>21</sup>	3.5	4.7
3	2004/10/24,02:38	3.6	37.260	138.770	8	2.43×10 <sup>21</sup>	4.5	4.7
4	2004/10/24,06:44	3.5	37.331	138.847	5	2.06×10 <sup>21</sup>	4.5	4.0
5	2004/10/24,08:02	3.8	37.272	138.897	8	5.29×10 <sup>21</sup>	3.5	4.9
6	2004/10/24,10:06	4.2	37.319	138.885	5	1.89×10 <sup>22</sup>	2.4	5.6
7	2004/10/24,13:54	3.7	37.224	138.832	5	3.82×10 <sup>21</sup>	4	5.2
8	2004/10/25,06:04	5.6	37.342	138.905	14	2.47×10 <sup>24</sup>	0.6	11.4
9	2004/10/27,10:40	5.8	37.304	138.992	11	6.34×10 <sup>24</sup>	0.4	8.7
10	2004/11/01,18:58	3.8	37.400	138.959	5	4.84×10 <sup>21</sup>	3.5	4.4
11	2004/11/04,08:57	5.1	37.442	138.874	11	5.64×10 <sup>23</sup>	1	12.1
12	2004/11/04,09:39	3.6	37.446	138.879	11	3.20×10 <sup>21</sup>	4	4.4
13	2004/11/05,14:56	4.1	37.189	138.785	8	1.65×10 <sup>22</sup>	2.25	4.0
14	2004/11/06,22:05	4	37.362	138.850	5	1.28×10 <sup>22</sup>	2.7	5.4
15	2004/11/07,03:54	3.7	37.186	138.783	5	3.76×10 <sup>21</sup>	3.5	3.5
16	2004/11/08,11:15	5.5	37.408	138.990	5	2.24×10 <sup>24</sup>	0.6	10.4
17	2004/11/11,18:04	3.5	37.253	138.860	5	1.74×10 <sup>21</sup>	5	4.7
18	2004/11/12,02:24	3.9	37.250	138.889	8	8.21×10 <sup>21</sup>	3.2	5.8
19	2004/11/15,09:39	4.5	37.396	138.957	5	5.37×10 <sup>22</sup>	1.5	3.9
20	2004/12/25,10:23	4.1	37.418	138.919	8	1.88×10 <sup>22</sup>	2.4	5.6
21	2004/12/28,18:30	4.7	37.334	138.941	5	1.22×10 <sup>23</sup>	1.2	4.5
22	2005/01/20,01:11	3.4	37.391	138.916	17	1.50×10 <sup>21</sup>	5.5	5.3
23	2005/06/20,13:03	4.9	37.244	138.546	5	2.16×10 <sup>23</sup>	1	4.6
24	2005/08/21,11:29	4.6	37.313	138.667	8	1.06×10 <sup>23</sup>	1.6	9.3

- 以下の条件を満たす24地震を選定。
  - マグニチュードが本震より2程度小さい。
  - メカニズムが本震に近い。
  - 対象観測点で記録が得られている。
- 要素地震についても、Sakai et al.(2005)の知見を踏まえ、気象庁一元化震源から西北西に約4km(4.3km)ずらした震央を使用。
- 要素地震の実効応力は、コーナー周波数f<sub>c</sub>を変えて計算した理論スペクトルが観測記録と合うように定めた。



合成波形と観測記録の最大加速度Aおよび最大速度Vの比



NIGH01 (長岡) 観測点 地中記録の再現解析  
神原ほか(2006)より抜粋 (一部加筆・修正)

# 評価の妥当性に関する検討

## ①中越地震のシミュレーション解析

- a. 経験的グリーン関数法（EGF）
- b. 統計的グリーン関数法（SGF）

## ②要素地震に関する検討

- a. スペクトルインバージョンによる要素地震の再見積もり及び影響確認
- b. 1つの要素地震を用いたケース
- c. 角田・弥彦及び気比ノ宮断層（北部の断層）の要素地震を変更したケース
- d. 要素地震に関する検討のまとめ

## ③まとめ

# ①中越地震のシミュレーション解析 - a. 経験的グリーン関数法(EGF)

## 要素地震の選定

■ 中越地震の震源モデルを用いたシミュレーション解析により地震動評価に用いる要素地震を選定。(対象は、中越地震の記録が得られている大湊側)

■ 選定のプロセスとしては以下のとおり。

Step1：要素地震の候補選定

Step2：中越地震の強震動シミュレーション

Step3：採用する要素地震、適用方法の決定

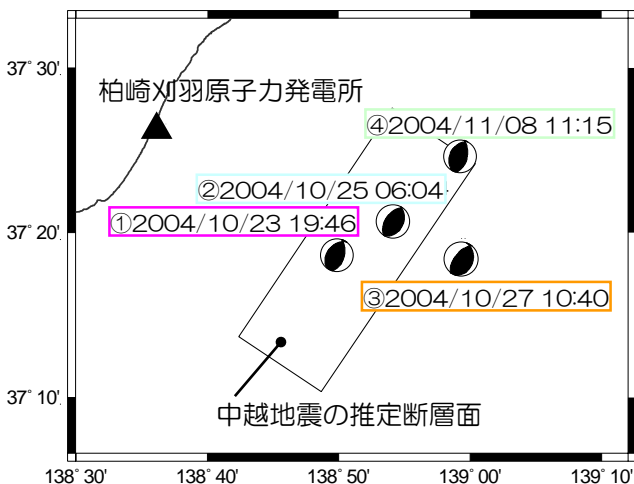
### Step1：要素地震の候補選定

以下の条件により要素地震の候補を選定

- 荒浜側（1～4号機側），大湊側（5～7号機側）の両方で記録を取得。
- 想定地震の震源域やその近傍で発生し，評価地点までの伝播特性が類似。
- 十分な規模の地震であること。  
(ここでは，長岡平野西縁断層帯( $M_w$  7.3)の評価に用いることを念頭に  $M_w$  5.3以上。)
- 震源特性が明らかであること。  
(ここでは，防災科研F-netのデータベース，神原ほか(2006)を参照)

➡ 要素地震として以下の4地震を抽出

抽出した要素地震の候補



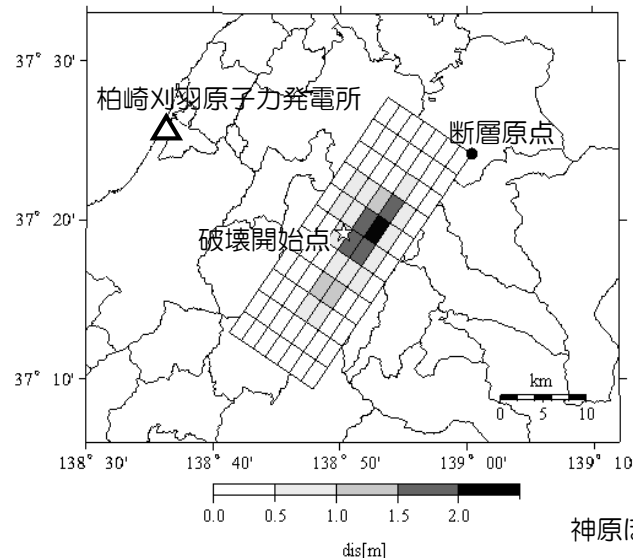
No.	①	②	③	④	備考	
発生日時	2004/10/23 19:46	2004/10/25 06:04	2004/10/27 10:40	2004/11/8 11:15	気象庁	
マグニチュード	$M_j$	5.7	5.8	6.1	5.9	気象庁
	$M_w$	5.5	5.6	5.8	5.5	F-net
震源位置	東経(°)	138.83	138.90	138.99	138.99	神原ほか(2006)*
	北緯(°)	37.31	37.34	37.31	37.41	神原ほか(2006)*
震源深さ(km)		12.35	15.20	11.60	0	気象庁
		8	14	11	5	F-net
走向(°)	16 ; 217	215 ; 29	218 ; 18	13 ; 209	F-net	
傾斜(°)	52 ; 40	53 ; 37	60 ; 32	53 ; 38	F-net	
すべり角(°)	76 ; 107	94 ; 85	100 ; 73	80 ; 103	F-net	
地震モーメント(N·m)	$1.8 \times 10^{17}$	$2.5 \times 10^{17}$	$6.3 \times 10^{17}$	$2.2 \times 10^{17}$	F-net	
コーナ周波数(Hz)	0.6	0.6	0.4	0.6	神原ほか(2006)	
実効応力(MPa)	8.2	11.4	8.7	10.4	神原ほか(2006)	

\*ただし，日本測地系の座標を世界測地系に変換

# ①中越地震のシミュレーション解析 - a. 経験的グリーン関数法(EGF) 要素地震の選定

## Step2: 中越地震の強震動シミュレーション

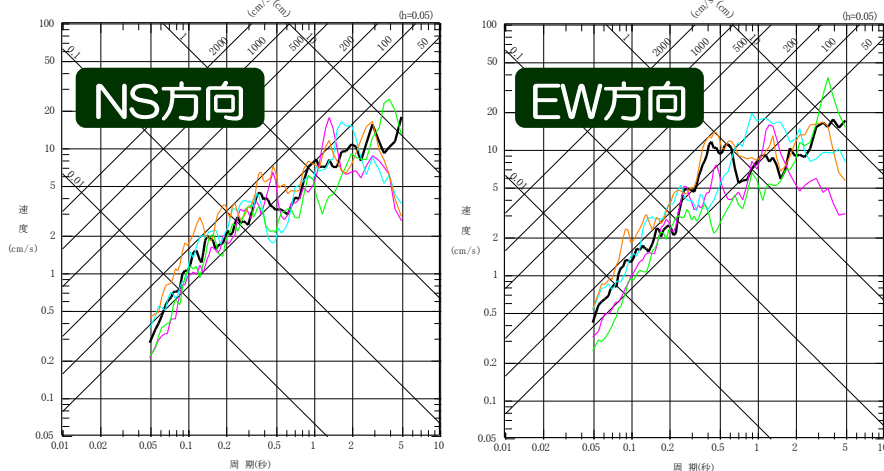
- 神原ほか(2006)で提案されている中越地震の震源モデルにより強震動シミュレーションを実施。
- 要素地震を1つとした場合のシミュレーション結果を踏まえ、さらに敷地で得られた観測記録の再現性を向上させる目的で、要素地震を2つとした場合についても検討。



パラメータ		設定値
断層原点	東経(°)	139° 0' 23"
	北緯(°)	37° 24' 12"
断層上端深さ(km)		0.2
断層長さ(km)		31
断層幅(km)		20
断層面積(km <sup>2</sup> )		620
走向(°)		214
傾斜角(°)		56
S波速度(km/s)		3.4
破壊伝播速度(km/s)		2.45
地震モーメント(N·m)		8.17×10 <sup>18</sup>
平均すべり量(cm)		43.8
平均応力降下量(MPa)		1.29

神原ほか(2006)による中越地震の震源モデル  
(コンターはすべり量分布)

## 1つの要素地震による強震動シミュレーション



地中の観測点における比較 (5号機地盤系-300m)

	要素地震	シミュレーション結果の特徴
①	2004/10/23	長周期側の地震動レベルが不足
②	2004/10/25	長周期側の地震動レベルが不足 EW成分の周期0.5~1秒付近のピークがずれている
③	2004/10/27	長周期側の地震動レベルが不足 ただし、 <b>ピーク位置は概ね整合</b>
④	2004/11/08	短周期側の地震動レベルが不足しているものの、 <b>長周期側は同程度あるいは大きめの評価</b>

- 中越地震 観測記録
- ① 2004/10/23
- ② 2004/10/25
- ③ 2004/10/27
- ④ 2004/11/08

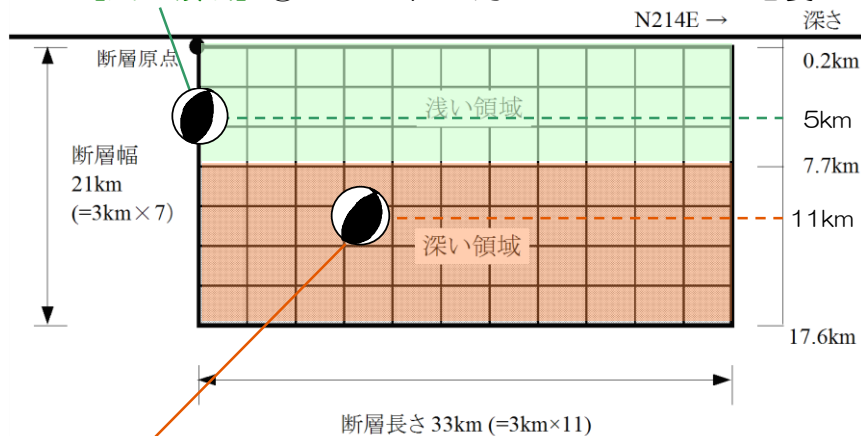
➡ 2つの要素地震を用いる場合として、③、④の組み合わせで検討

# ①中越地震のシミュレーション解析 - a. 経験的グリーン関数法(EGF) 要素地震の選定

## 2つの要素地震による強震動シミュレーション

- 深さに応じて2つの要素地震を割り付ける方法により、1つの要素地震を用いたケースと比較して、再現性が高いことを確認。

【浅い領域】④2004年11月08日 11:15の地震



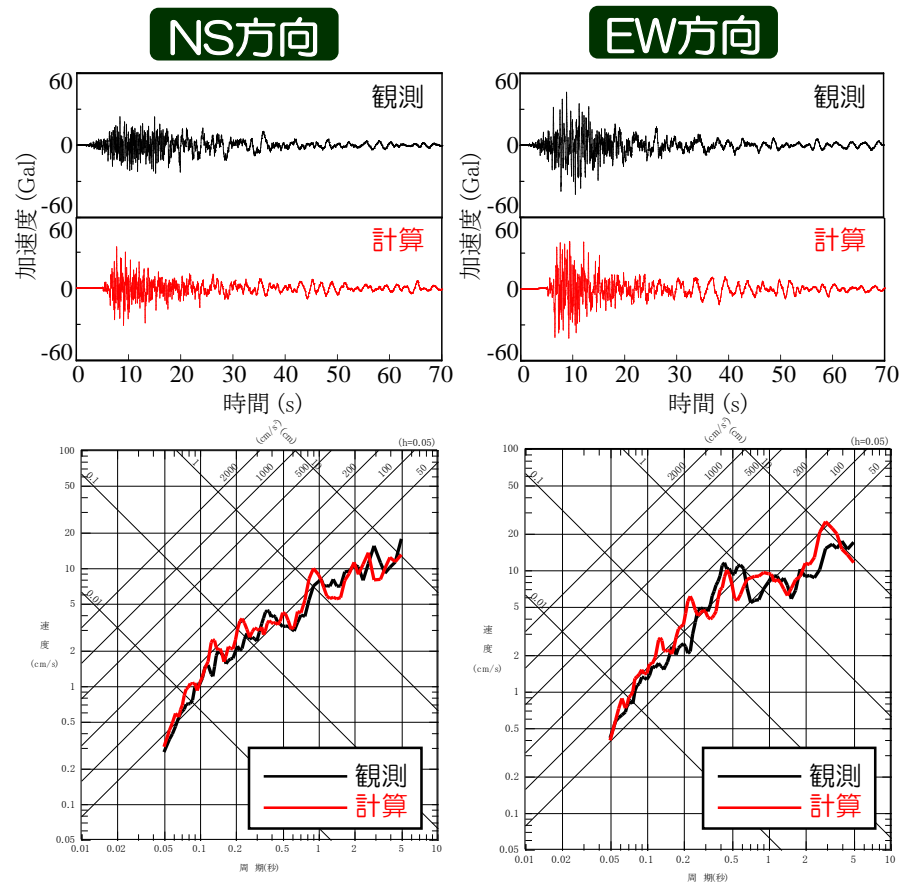
【深い領域】③2004年10月27日 10:40の地震

### Step3: 採用する要素地震, 適用方法の決定

- 長岡平野西縁断層帯に用いる要素地震は、中越地震のシミュレーション解析から再現性の良い要素地震を選定。
- シミュレーション解析においては、浅い領域と深い領域で異なる要素地震を用いることによって、記録の再現性が改善できたことから、長岡平野西縁断層帯の地震動評価においても、同様に2つの要素地震を用いる。(深さ7.7kmを超えて深い断層面においては【断層面深部】の要素地震を採用)

【断層面浅部】2004年11月08日 11時15分の地震( $M_w$ 5.5)

【断層面深部】2004年10月27日 10時40分の地震( $M_w$ 5.8)



地中の観測点における比較 (5号機地盤系-300m)

# 評価の妥当性に関する検討

## ①中越地震のシミュレーション解析

- a. 経験的グリーン関数法（EGF）
- b. 統計的グリーン関数法（SGF）

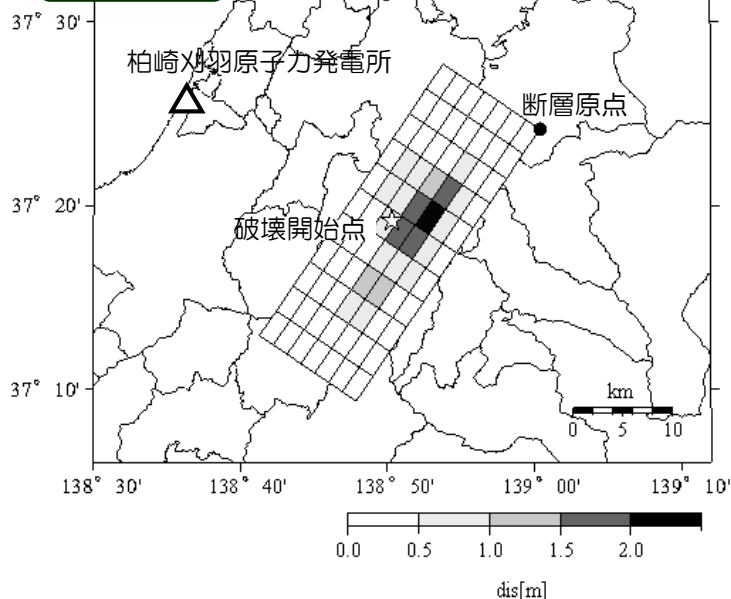
## ②要素地震に関する検討

- a. スペクトルインバージョンによる要素地震の再見積もり及び影響確認
- b. 1つの要素地震を用いたケース
- c. 角田・弥彦及び気比ノ宮断層（北部の断層）の要素地震を変更したケース
- d. 要素地震に関する検討のまとめ

## ③まとめ

# ①中越地震のシミュレーション解析 - b. 統計的グリーン関数法(SGF) 評価条件

## 平面図



- 敷地は褶曲構造等の影響が認められるものの、断層モデルを用いた手法で評価される地震動レベルの妥当性を確認することを目的に統計的グリーン関数法による中越地震の震源モデルを用いたシミュレーション解析を実施。
- 評価対象地点は、中越地震の観測記録が得られている大湊側とする。なお、波形合成は、Dan et al.(1989)の手法による。

## 要素地震の加速度フーリエスペクトルモデル

Boore(1983)による統計的モデルに、震源のインピーダンスと地震基盤のインピーダンスとの相違を考慮した次式とする。

$$A(f) = S(f) \cdot P(f) \cdot \sqrt{\frac{\rho\beta}{\rho_s\beta_s}} \quad S(f) = \frac{F}{4\pi\rho\beta^3} \cdot M_0 \cdot \frac{(2\pi f)^2}{1+(f/f_c)^2} \cdot \frac{1}{\sqrt{1+(f/f_{\max})^{2s}}} \cdot FS$$

$$P(f) = \frac{\exp\{-\pi f X / (Q\beta)\}}{X}$$

$$f_c = 4.9 \times 10^6 \beta \left( \frac{\Delta\sigma}{M_0} \right)^{1/3}$$

$A(f)$  : 加速度フーリエスペクトル振幅       $f$  : 周波数

$F$  : 放射特性       $FS$  : 自由表面での増幅を表す係数 (地表:2, 地中:1)

$f_c$  : コーナー周波数       $f_{\max}$  : 高周波遮断周波数

$Q$  : Q値       $s$  : 係数 (ここでは、佐藤ほか(1994)より  $2s=4.2$ )

$X$  : 震源距離 (サイトから断層面の中心までの距離)

$\beta \rho$  : 震源におけるS波速度(km/s)と地盤密度

$\beta_s \rho_s$  : 評価点の地震基盤におけるS波速度(km/s)と地盤密度

$\Delta\sigma$  : 応力降下量(bar) (平均応力降下量と同じに設定)

$M_0$  : 地震モーメント(dyne·cm)       $M_0 = \frac{16}{7} \Delta\sigma \cdot r_e^3$        $r_e$  : 要素断層の等価半径

パラメータ		設定値
断層原点	東経(°)	139° 0' 23"
	北緯(°)	37° 24' 12"
断層上端深さ(km)		0.2
断層長さ(km)		31
断層幅(km)		20
断層面積(km <sup>2</sup> )		620
走向(°)		214
傾斜角(°)		56
S波速度(km/s)		3.4
破壊伝播速度(km/s)		2.45
地震モーメント(N·m)		$8.17 \times 10^{18}$
平均すべり量(cm)		43.8
平均応力降下量(MPa)		1.29

神原ほか(2006)による中越地震の震源モデル (コンターはすべり量分布)



# ①中越地震のミュレーション解析 - b. 統計的グリーン関数法(SGF) 評価条件

## 要素地震の経時特性 (時刻歴包絡関数)

要素地震の経時特性（時刻歴包絡関数）については、Boore(1983)による次式を使用。

$$w(t) = a \cdot t^b \cdot \exp(-ct) \cdot H(t)$$

$$a = \{e/(\varepsilon T_w)\}^b \quad T_w = 2T_d \quad T_d = f_c^{-1}$$

$$b = -\varepsilon \cdot \ln \eta / \{1 + \varepsilon(\ln \varepsilon - 1)\} \quad c = b/(\varepsilon \cdot T_w)$$

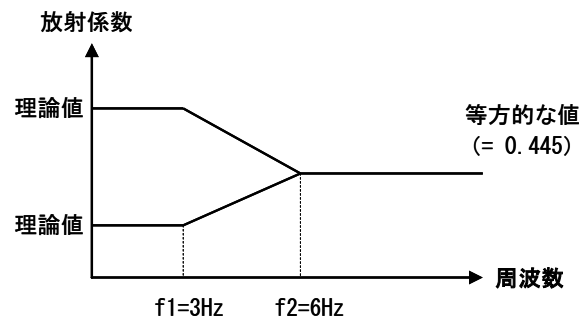
$t$  : 時間       $w(t)$  : 経時特性（時刻歴包絡関数）

$H(t)$  : ステップ関数     $f_c$  : コーナー周波数

$\varepsilon$   $\eta$  : 係数 ( $\varepsilon=0.2, \eta=0.05$ )

## 放射特性

佐藤(2000)を参考に、3Hz以下では理論値、6Hz以上の高周波領域ではBoore and Boatwright(1984)による等方的な値とし、3Hz~6Hzの遷移領域では放射係数が両対数軸で直線的に変化すると仮定。



## 地下構造モデル

小林ほか(2005)の方法を用いて、地盤系の記録（2004年中越地震の余震）から算定した水平/上下 $\pi/4$ 傾振幅比、レシーバー関数に対して遺伝的アルゴリズムによる逆解析を実施して推定した地下構造モデルを使用。

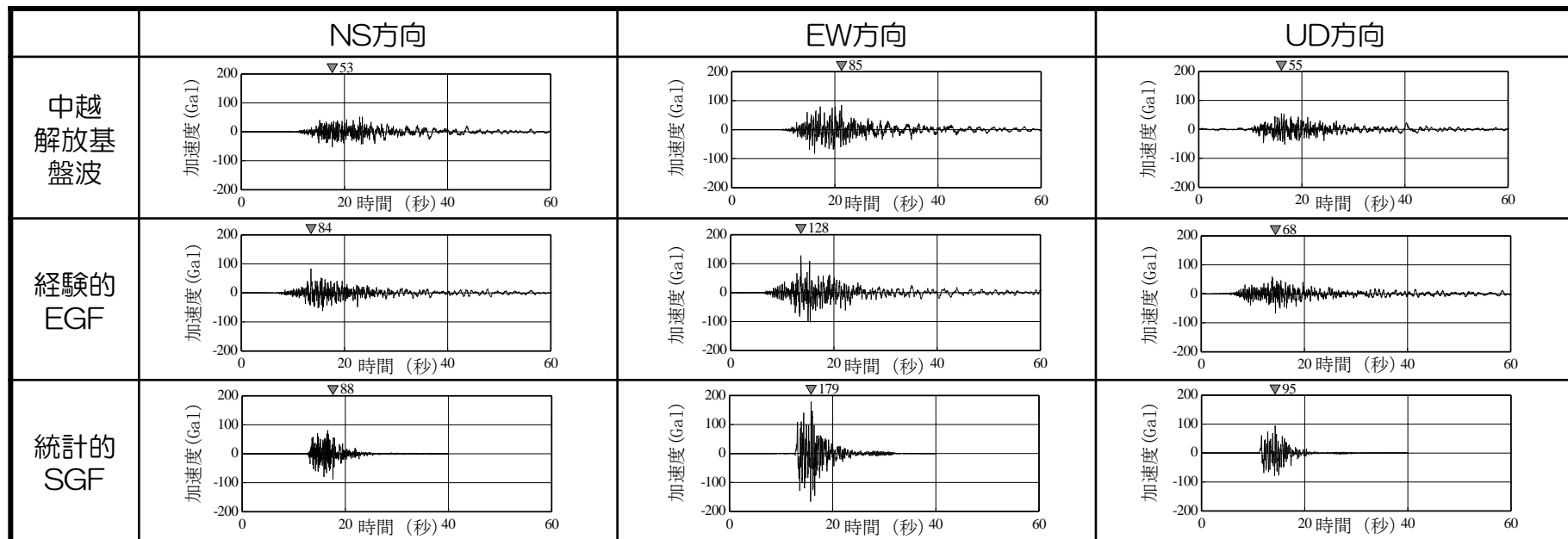
層No.	T. M. S. L. (m)	層厚 (m)	密度 ( $t/m^3$ )	$V_s$ (m/s)	$V_p$ (m/s)	Q (-)
	-134					
1	-149	15	2.03	730	1800	50f
2	-180	31	2.03	890	1900	50f
3	-231	51	2.03	890	1900	50f
4	-266	35	2.03	960	1900	50f
5	-300	34	2.03	1000	2100	50f
6	-1360	1060	2.12	1160	2390	50f
7	-2410	1050	2.25	1620	3220	50f
8	-3700	1290	2.36	2050	4150	50f
9	-5880	2180	2.51	2760	4820	50f
10	-	-	2.59	3170	5230	-

大湊側

地震基盤

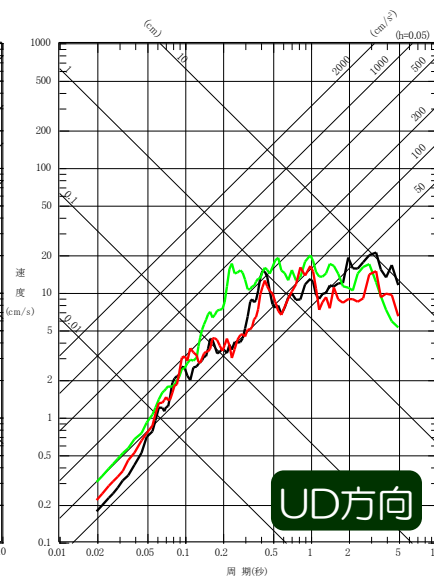
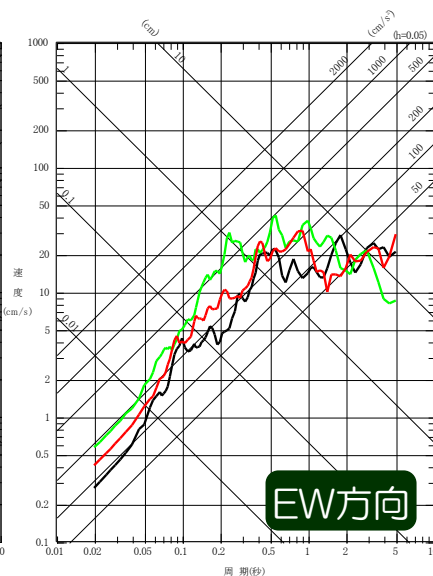
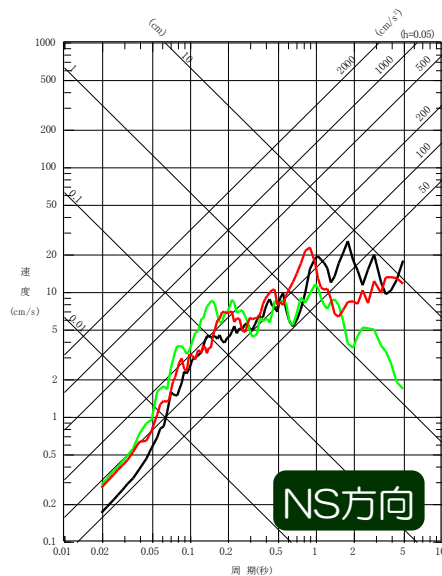
# ①中越地震のシミュレーション解析 - b. 統計的グリーン関数法(SGF)

## シミュレーション解析結果 大湊側 (評価点: 解放基盤表面)



■ 中越地震時の大湊側で得られている観測記録, 経験的グリーン関数法(EGF)及び統計的グリーン関数法(SGF)による中越地震のシミュレーション解析結果を比較し, 地震動レベルを確認した。

— 観測記録  
— 経験的グリーン関数法(EGF)  
— 統計的グリーン関数法(SGF)



# 評価の妥当性に関する検討

## ①中越地震のシミュレーション解析

- a. 経験的グリーン関数法（EGF）
- b. 統計的グリーン関数法（SGF）

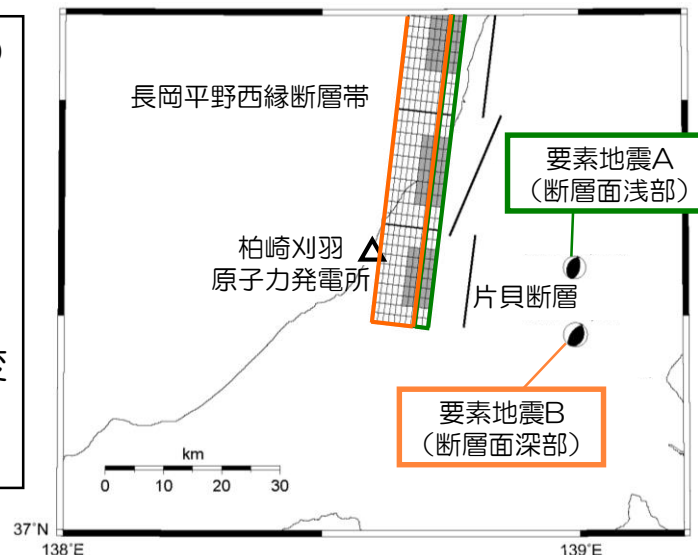
## ②要素地震に関する検討

- a. スペクトルインバージョンによる要素地震の再見積もり及び影響確認
- b. 1つの要素地震を用いたケース
- c. 角田・弥彦及び気比ノ宮断層（北部の断層）の要素地震を変更したケース
- d. 要素地震に関する検討のまとめ

## ③まとめ

## ②要素地震に関する検討

- 神原ほか(2006)及び①の検討結果等をもとに要素地震を下表のように選定・設定し，長岡平野西縁断層帯による地震を評価。
- しかしながら，ここでは説明性を向上する目的で，長岡平野西縁断層帯による地震を対象に以下の検討を実施。
  - a. スペクトルインバージョンによる要素地震の再見積もり及び影響確認
  - b. 1つの要素地震を用いたケース
  - c. 角田・弥彦及び気比ノ宮断層（北部の断層）の要素地震を変更したケース
  - d. 要素地震に関する検討のまとめ



### 要素地震の震源パラメータ

		要素地震A	要素地震B	備考
発生日時		2004/11/8 11:15	2004/10/27 10:40	気象庁
マグニチュード	M <sub>j</sub>	5.9	6.1	気象庁
	M <sub>w</sub>	5.5	5.8	F-net
震源位置	東経(°)	138.99	138.99	神原ほか(2006) <sup>*</sup>
	北緯(°)	37.41	37.31	神原ほか(2006) <sup>*</sup>
震源深さ(km)		0	11.60	気象庁
		5	11	F-net
走向(°)		13 ; 209	218 ; 18	F-net
傾斜(°)		53 ; 38	60 ; 32	F-net
すべり角(°)		80 ; 103	100 ; 73	F-net
地震モーメント(N·m)		2.24 × 10 <sup>17</sup>	6.34 × 10 <sup>17</sup>	F-net
コーナー周波数(Hz)		0.6	0.4	神原ほか(2006)
実効応力(MPa)		10.4	8.7	神原ほか(2006)
Q値		76 f <sup>0.74</sup>	76 f <sup>0.74</sup>	岩田ほか(2005)

注) 長岡平野西縁断層帯の傾斜角50°の断層モデル図にプロット

※ 日本測地系の座標を世界測地系に変換

# ②要素地震に関する検討 要素地震A（浅部）の見積もり

- 要素地震の見積もりは、神原ほか(2006)の検討結果をもとに実施しているが、敷地及び周辺KiK-net観測点の記録を用いて、妥当性を再確認する。
- 理論スペクトルと観測記録は概ね整合する傾向にあり、適切に設定されていることが確認できる。

## 理論スペクトルの算定式 (Boore(1983))

加速度フーリエスペクトル振幅  $A(f)$

$$A(f) = S(f) \cdot P(f) \cdot \sqrt{\frac{\rho\beta}{\rho_s\beta_s}}$$

震源スペクトル  $S(f)$

$$S(f) = \frac{F}{4\pi\rho\beta^3} \cdot M_0 \cdot \frac{(2\pi f)^2}{1+(f/f_c)^2} \cdot \frac{1}{\sqrt{1+(f/f_{max})^{2s}}} \cdot FS$$

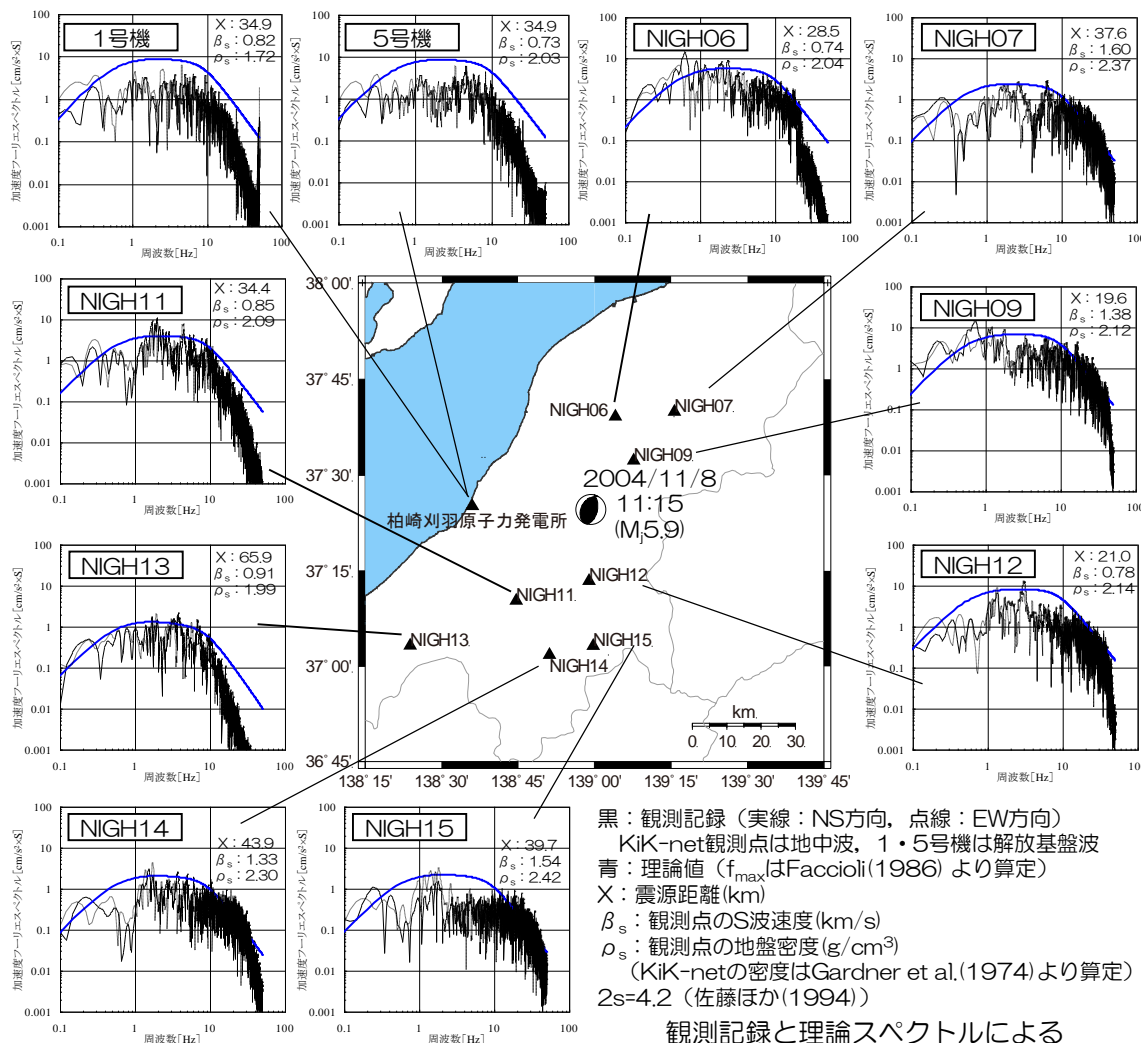
伝播特性  $P(f)$

$$P(f) = \frac{\exp\{-\pi f X / (Q\beta)\}}{X}$$

コーナー周波数  $f_c$   $f_c = 4.9 \times 10^6 \beta \left( \frac{\Delta\sigma}{M_0} \right)^{1/3}$

ここで、 $f$ :周波数  $F$ :放射特性(0.63/√2)  
 $FS$ :自由表面での増幅を表す係数(地表:2, 地中:1)  
 $f_{max}$ :高周波遮断周波数  $Q$ :Q値  $X$ :震源距離  
 $\beta$ ,  $\rho$ :震源におけるS波速度(km/s)と地盤密度  
 $\beta_s$ ,  $\rho_s$ :観測点におけるS波速度(km/s)と地盤密度  
 $\Delta\sigma$ :応力降下量  
 $M_0$ :地震モーメント(dyne·cm)

神原ほか(2006)により設定されているコーナー周波数を代入して求めた理論スペクトルと観測記録から求めた加速度フーリエスペクトル振幅を比較し適合状況を確認 ( $M_0$ はF-net,  $Q$ 値は岩田ほか(2005)の値を採用)



観測記録と理論スペクトルによる  
加速度フーリエスペクトル振幅の比較

# ②要素地震に関する検討 要素地震B（深部）の見積もり

- 要素地震の見積もりは、神原ほか(2006)の検討結果をもとに実施しているが、敷地及び周辺KiK-net観測点の記録を用いて、妥当性を再確認する。
- 理論スペクトルと観測記録は概ね整合する傾向にあり、適切に設定されていることが確認できる。

## 理論スペクトルの算定式 (Boore(1983))

加速度フーリエスペクトル振幅  $A(f)$

$$A(f) = S(f) \cdot P(f) \cdot \sqrt{\frac{\rho\beta}{\rho_s\beta_s}}$$

震源スペクトル  $S(f)$

$$S(f) = \frac{F}{4\pi\rho\beta^3} \cdot M_0 \cdot \frac{(2\pi f)^2}{1+(f/f_c)^2} \cdot \frac{1}{\sqrt{1+(f/f_{max})^{2s}}} \cdot FS$$

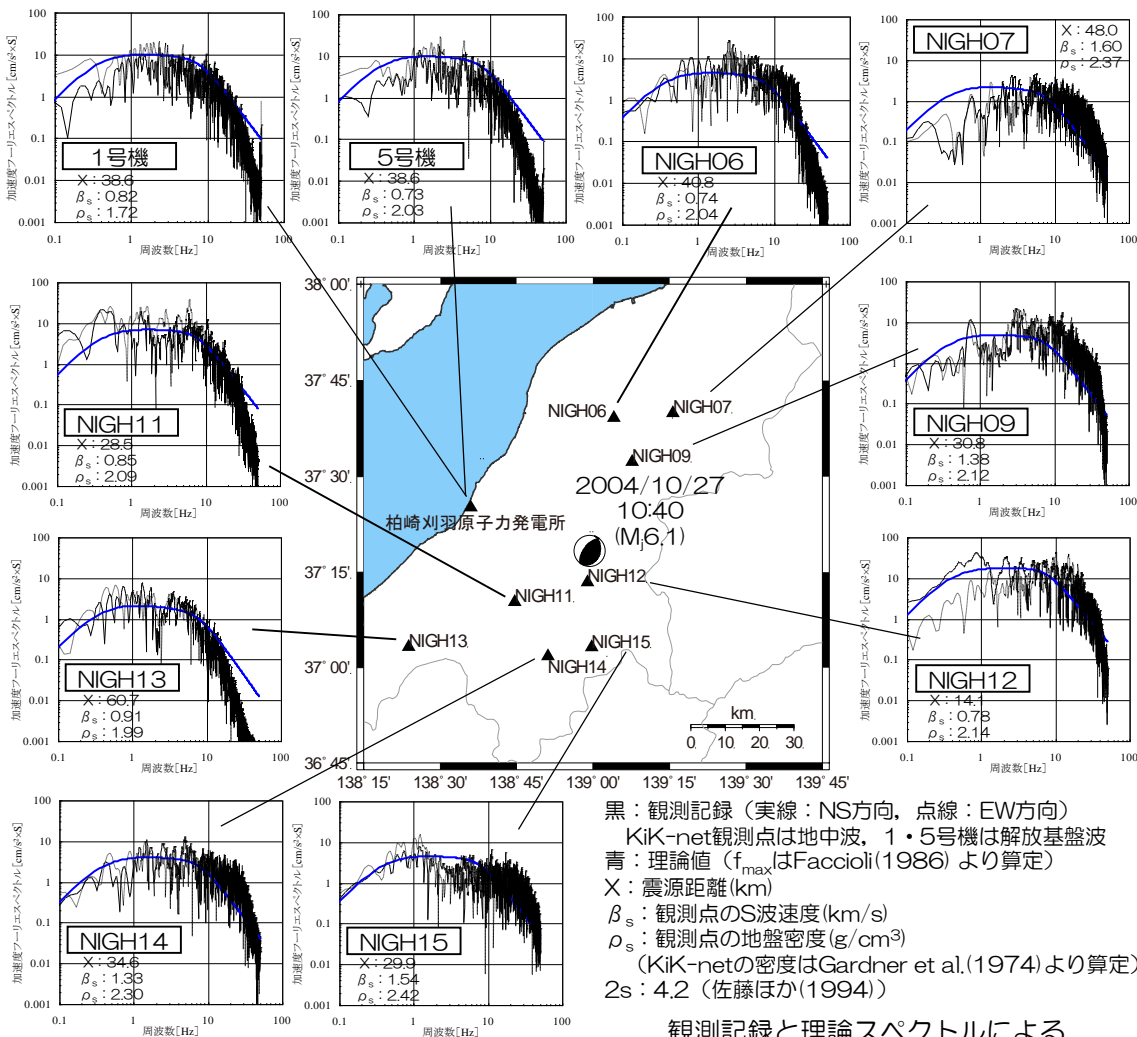
伝播特性  $P(f)$

$$P(f) = \frac{\exp\{-\pi f X / (Q\beta)\}}{X}$$

コーナー周波数  $f_c$   $f_c = 4.9 \times 10^6 \beta \left( \frac{\Delta\sigma}{M_0} \right)^{1/3}$

ここで、 $f$ :周波数  $F$ :放射特性(0.63/√2)  
 $FS$ :自由表面での増幅を表す係数(地表:2, 地中:1)  
 $f_{max}$ :高周波遮断周波数  $Q$ :Q値  $X$ :震源距離  
 $\beta$ ,  $\rho$ :震源におけるS波速度(km/s)と地盤密度  
 $\beta_s$ ,  $\rho_s$ :観測点におけるS波速度(km/s)と地盤密度  
 $\Delta\sigma$ :応力降下量  
 $M_0$ :地震モーメント(dyne·cm)

神原ほか(2006)により設定されているコーナー周波数を代入して求めた理論スペクトルと観測記録から求めた加速度フーリエスペクトル振幅を比較し適合状況を確認 ( $M_0$ はF-net,  $Q$ 値は岩田ほか(2005)の値を採用)



黒: 観測記録 (実線: NS方向, 点線: EW方向)  
 KiK-net観測点は地中波, 1・5号機は解放基盤波  
 青: 理論値 ( $f_{max}$ はFaccioli(1986)より算定)  
 $X$ : 震源距離(km)  
 $\beta_s$ : 観測点のS波速度(km/s)  
 $\rho_s$ : 観測点の地盤密度( $g/cm^3$ )  
 (KiK-netの密度はGardner et al.(1974)より算定)  
 $2s$ : 4.2 (佐藤ほか(1994))

観測記録と理論スペクトルによる  
 加速度フーリエスペクトル振幅の比較

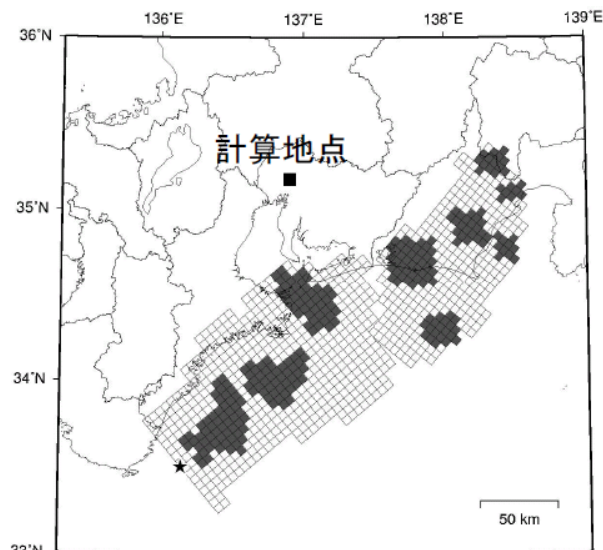
# 【参考】同一アスペリティ内で複数の要素地震を用いて 評価が行われている実績について

- 長岡平野西縁断層帯による地震の断層モデルを用いた手法による地震動評価では、同一アスペリティの浅部・深部について2種の要素地震を採用。
- ここでは、他の研究成果等において、同一アスペリティ内で複数の要素地震を用いて評価が行われている実績を調査。名古屋市三の丸地区で、国土交通省中部地方整備局、愛知県、名古屋市の3者が、各庁舎の耐震改修に用いる地震動を共同して作成しており、この中で同一アスペリティ内で複数の要素地震を用いた評価が行われている。

- ▶ 名古屋市三の丸地区で3つの建物が同時期に耐震改修を計画  
名古屋第二合同庁舎（国土交通省中部地方整備局）  
愛知県本庁舎（愛知県）  
名古屋市西庁舎（名古屋市）
- ▶ 共通の基盤地震動（三の丸波）を作成
- ▶ フィリピン海プレート境界の巨大地震（想定新東海地震（東海・東南海連動タイプ））をはじめとする、6つの想定地震を設定し、経験的グリーン関数法で地震動を計算

- ▶ 想定新東海地震の断層モデル

中央防災会議で提案された東海地震と東南海地震の連動タイプを採用



網掛部:アスペリティ  
★:破壊開始点

宮腰ほか(2004)より抜粋（一部加筆・修正）

# 【参考】同一アスペリティ内で複数の要素地震を用いて 評価が行われている実績について

## ▶地震観測記録

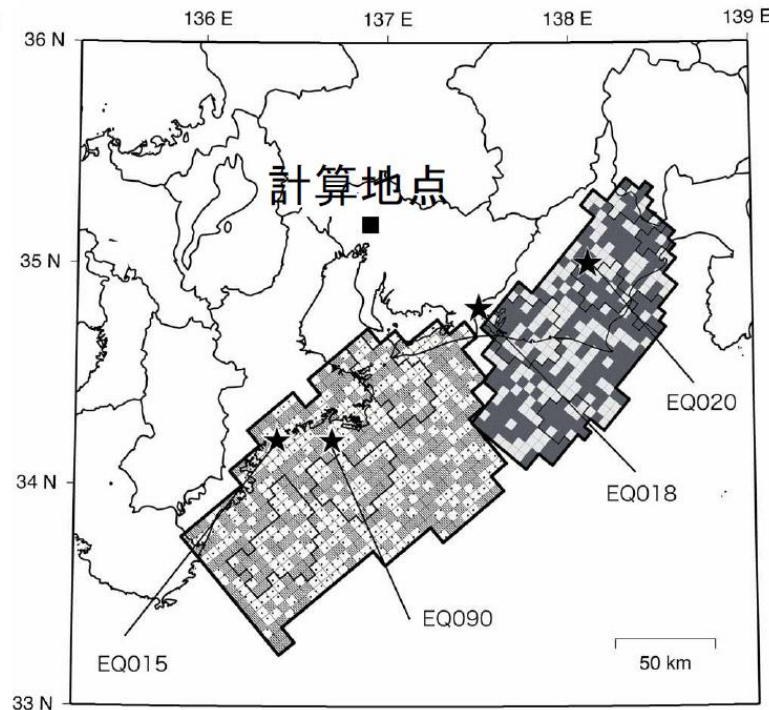
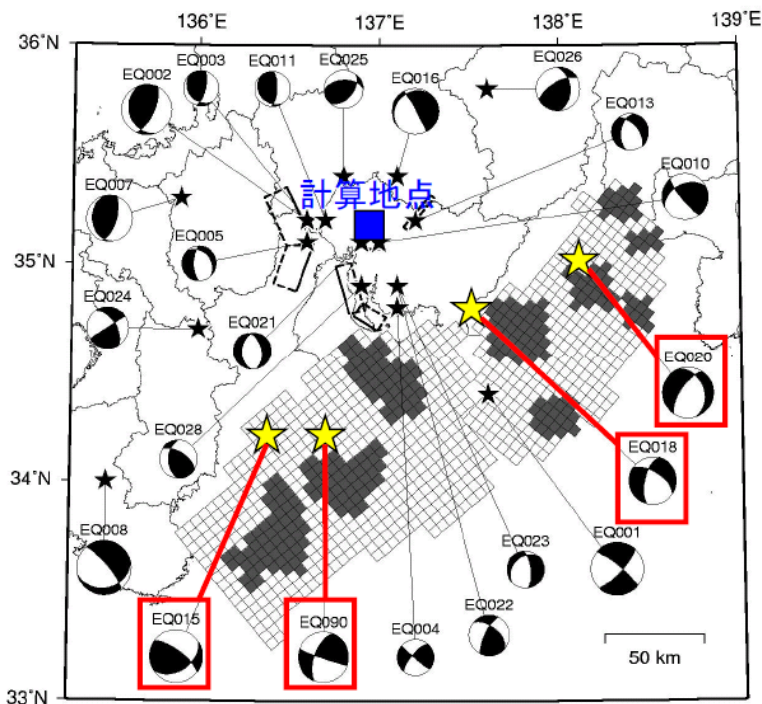
三の丸地区の地表で観測されたもので、周期5秒まで有効で地域特性を考慮できるものを選定。想定新東海地震では4つの要素地震を選定

## ▶要素地震

4つの要素地震をランダムに配置し、計算を実施。

主な地震の諸元

地震番号	発震日	M
EQ002	1998/04/22	5.5
EQ008	1999/08/21	5.5
EQ010	1999/11/29	4.8
EQ015	2000/10/31	5.7
EQ018	2001/02/23	5.0
EQ020	2001/04/03	5.2
EQ090	2004/01/06	5.4



宮腰ほか(2004)より抜粋 (一部加筆・修正)

■ 長岡平野西縁断層帯による地震の断層モデルを用いた手法による地震動評価と同様、同一アスペリティ内で複数の要素地震を用いた検討成果として、国土交通省中部地方整備局、愛知県、名古屋市の3者による名古屋市三の丸地区における検討成果があることを確認。



# 評価の妥当性に関する検討

## ①中越地震のシミュレーション解析

- a. 経験的グリーン関数法（EGF）
- b. 統計的グリーン関数法（SGF）

## ②要素地震に関する検討

- a. スペクトルインバージョンによる要素地震の再見積もり及び影響確認
- b. 1つの要素地震を用いたケース
- c. 角田・弥彦及び気比ノ宮断層（北部の断層）の要素地震を変更したケース
- d. 要素地震に関する検討のまとめ

## ③まとめ

# ②要素地震に関する検討-a. スペクトルインバージョンと要素地震の再見積もり

## スペクトルインバージョン

■ 陸域の地震に適用する要素地震の見積もりは、神原ほか(2006)を参考に設定しているが、説明性を向上させるため、スペクトルインバージョンにより震源特性・伝播特性・サイト特性を分離し、震源スペクトルを評価することで、見積もりが適切に行われていることを確認する。

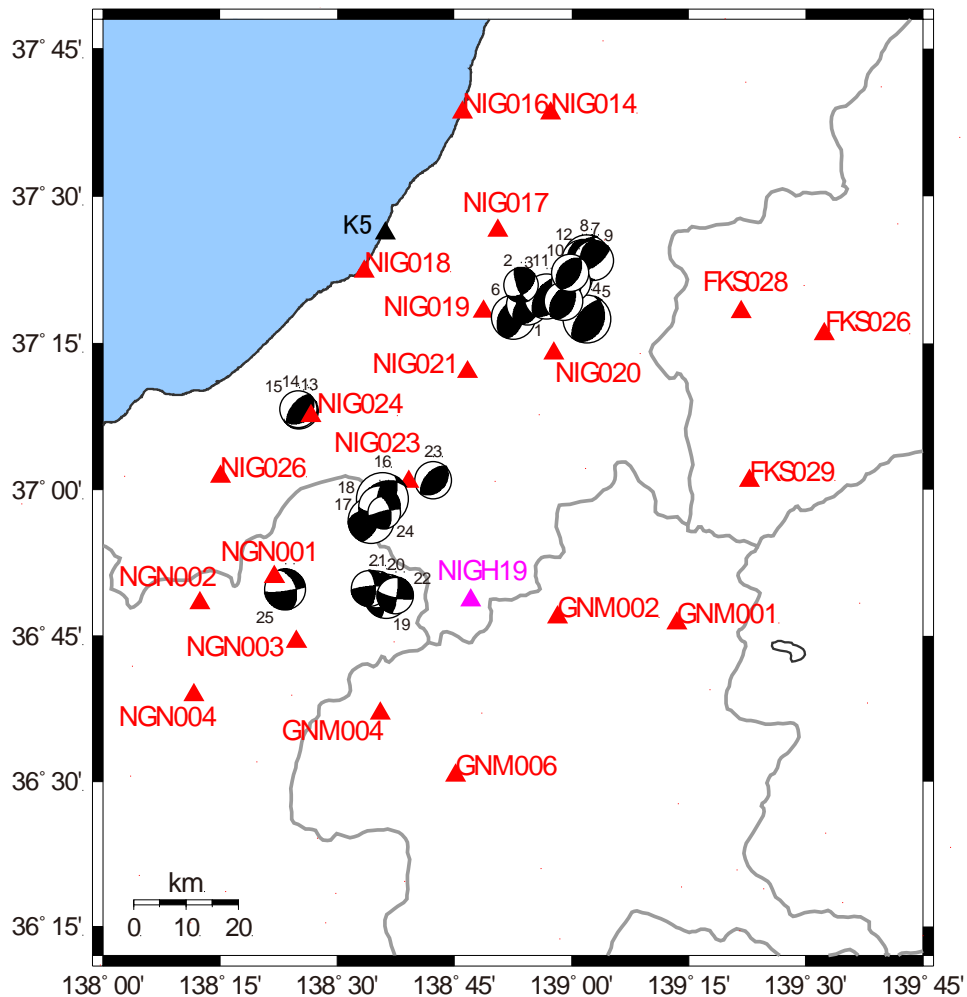
### 検討方法

- 解析に用いた地震：中越地域～長野県北部で発生した25地震
- 基準観測点：NIGH19 (KiK-net湯沢)  
はぎとり波 ( $V_s=1.91\text{km/s}$ 地盤)
- 敷地の記録：5号機はぎとり波
- 対象記録：S波主要動部

解析に用いた地震の諸元

No	震源要素											領域区分					
	発震日時		震央位置				震源地	M	Mo	fc	H		Δ	X			
			東経	北緯	度	分											
1	2004	10	23	19	45	138	52.6	37	17.7	新潟県中部	5.7	1.78E+24	0.60	12	29	32	東
2	2004	10	23	23	34	138	54.4	37	19	新潟県中部	5.3	4.14E+23	-	20	30	36	東
3	2004	10	25	6	4	138	56.8	37	19.8	新潟県中部	5.8	2.47E+24	0.60	15	33	36	東
4	2004	10	27	10	40	139	2	37	17.5	新潟県中部	6.1	6.34E+24	0.40	12	41	43	東
5	2004	11	6	2	53	139	0.1	37	21.7	新潟県中部	5.1	2.43E+23	-	0	37	37	東
6	2004	11	6	22	5	138	53.5	37	21	新潟県中部	4.4	1.28E+23	2.70	13	28	31	東
7	2004	11	8	11	15	139	1.92	37	23.8	新潟県中部	5.9	2.24E+24	0.60	0	39	39	東
8	2004	11	8	11	27	139	1.32	37	23.6	新潟県中部	5.0	1.84E+23	-	0	38	38	東
9	2004	11	8	11	32	139	2.81	37	23.5	新潟県中部	5.1	2.00E+23	-	6	40	40	東
10	2004	11	9	4	15	138	60	37	21.2	新潟県中部	5.0	9.48E+22	-	0	37	37	東
11	2004	12	28	18	30	138	59	37	19.4	新潟県中部	5.0	1.22E+23	1.20	8	36	37	東
12	2005	1	18	21	50	138	59.8	37	22.2	新潟県中部	4.7	7.09E+22	1.60	8	36	37	東
13	2010	10	2	12	35	138	25.6	37	08.1	新潟県上越地方	4.0	1.97E+22	4.70	22	35	41	南
14	2010	10	3	06	52	138	25.1	37	08.1	新潟県上越地方	4.6	5.46E+22	2.27	24	35	43	南
15	2010	10	3	09	26	138	25.0	37	08.3	新潟県上越地方	4.7	1.05E+23	1.83	22	35	41	南
16	2011	3	12	03	59	138	35.8	36	59.1	長野県北部	6.7	2.13E+25	0.21	8	48	49	南
17	2011	3	12	04	31	138	34.3	36	56.9	長野県北部	5.9	2.63E+24	0.46	1	52	52	南
18	2011	3	12	05	42	138	35.4	36	58.3	長野県北部	5.3	3.84E+23	0.55	4	49	50	南
19	2011	4	12	07	26	138	36.3	36	49.1	長野県北部	5.6	1.42E+24	0.51	0	66	66	南
20	2011	4	12	07	32	138	35.0	36	49.8	長野県北部	4.7	8.78E+22	1.21	0	65	65	南
21	2011	4	12	16	14	138	34.1	36	49.9	長野県北部	4.6	6.39E+22	1.74	1	65	65	南
22	2011	4	27	19	27	138	37.4	36	49.2	長野県北部	4.6	8.80E+22	-	0	66	66	南
23	2011	6	2	11	33	138	42.3	37	01.0	新潟県中部	4.7	5.13E+22	1.75	6	45	46	南
24	2012	1	1	00	28	138	36.0	36	57.7	新潟県中部	4.2	2.54E+22	-	7	50	51	南
25	2012	7	10	12	48	138	23.3	36	49.8	長野県北部	5.2	4.49E+23	-	9	68	69	南

注)地震モーメントMoはF-netによる。コーナー周波数fcはNo.1～No.12地震は神原ほか(2006)、No.13～No.25地震は南雲・植竹(2012)による。



# ②要素地震に関する検討-a. スペクトルインバージョンと要素地震の再見積もり スペクトルインバージョン 伝播特性・サイト特性

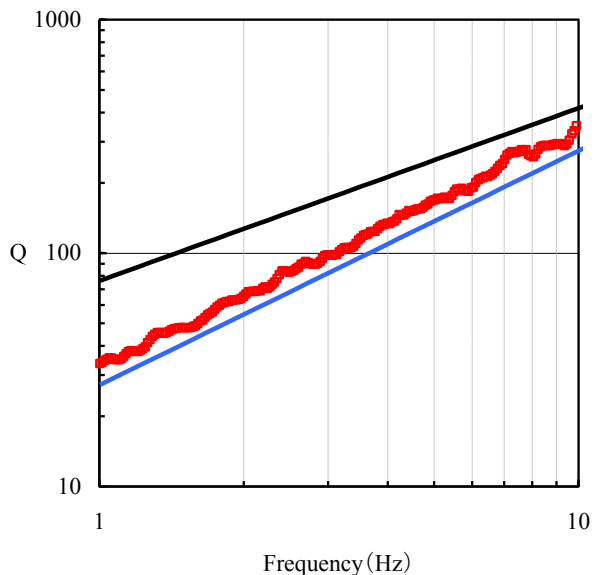
■ 解析により得られたサイト特性及び伝播特性を既往の知見と比較し、いずれも良く対応していることを確認。

## 伝播特性

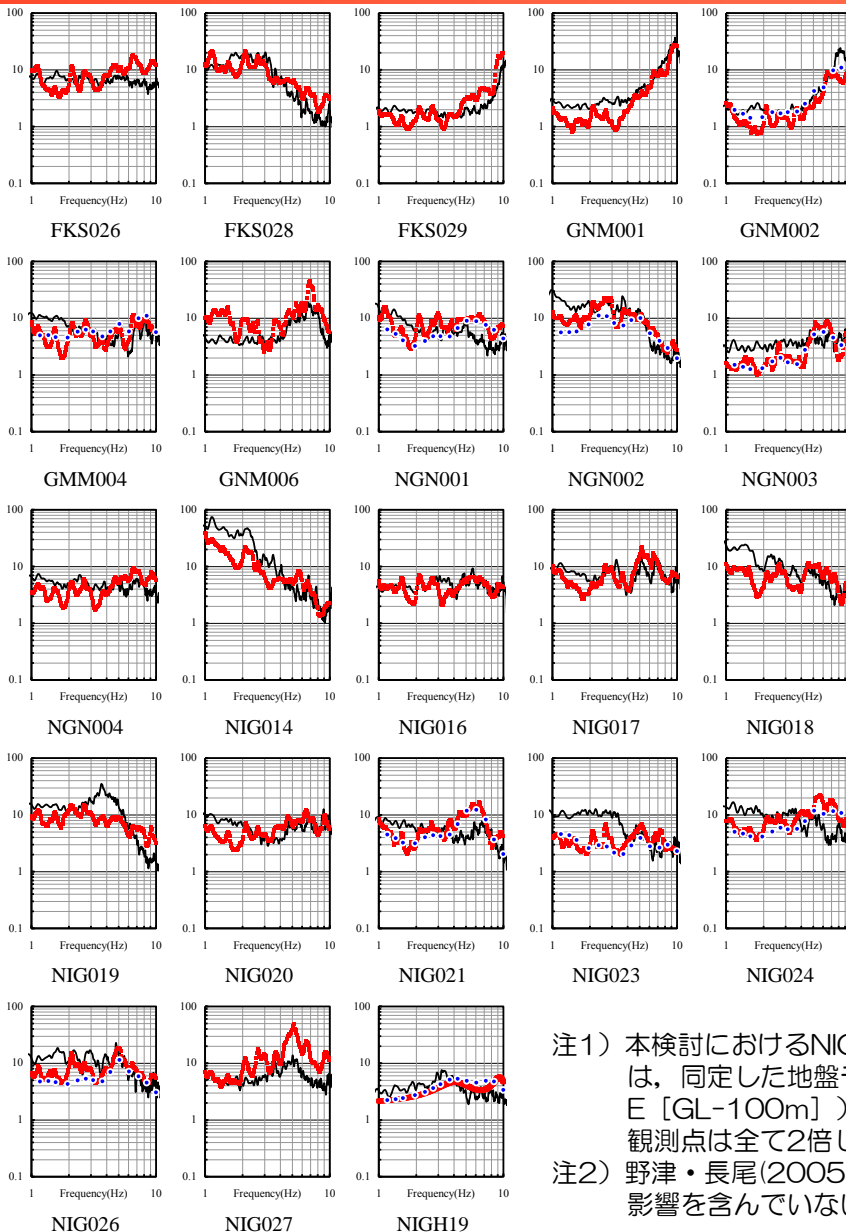
□ : 本検討

— : 南雲・植竹(2012) :  $Q=27.2f^{1.004}$

— : 岩田ほか(2005) :  $Q=76f^{0.74}$



## サイト特性



■ 本検討  
● 南雲・植竹(2012)  
— 野津・長尾(2005)

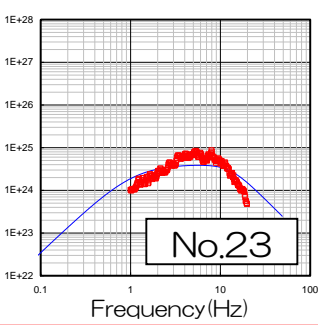
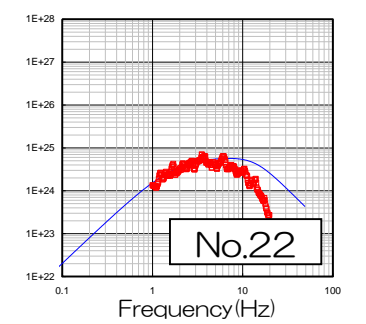
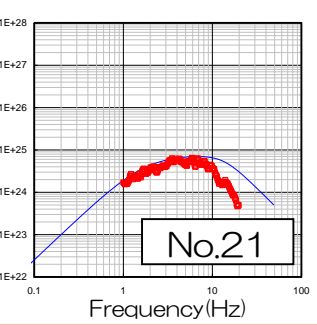
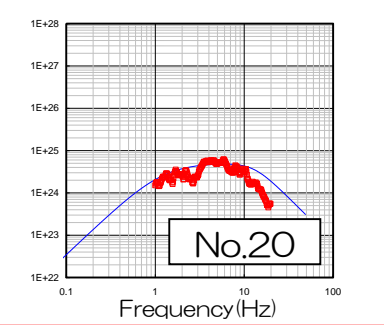
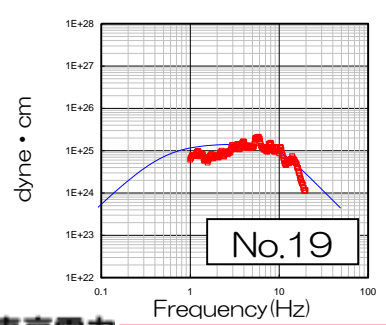
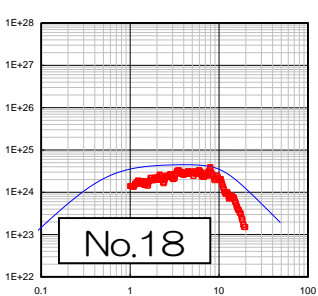
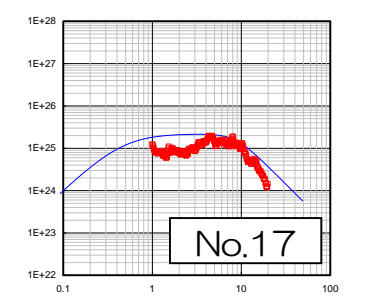
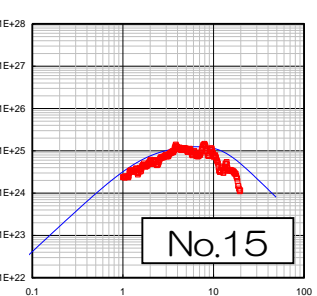
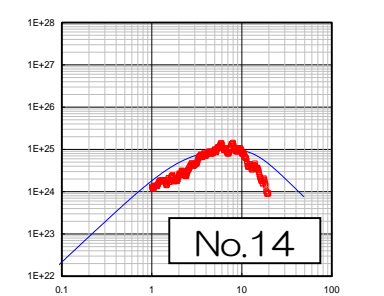
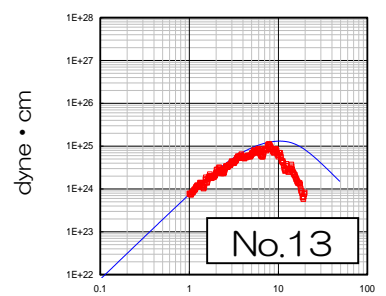
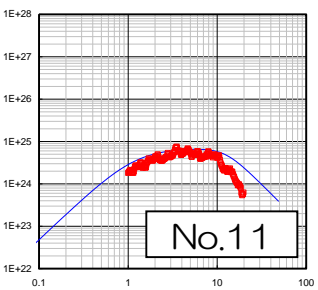
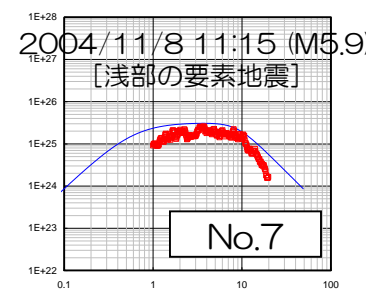
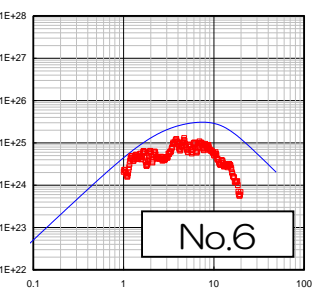
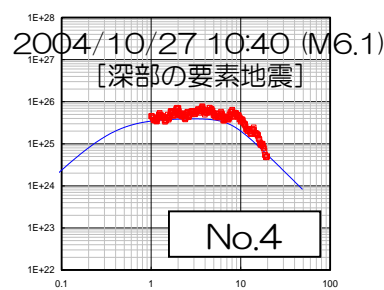
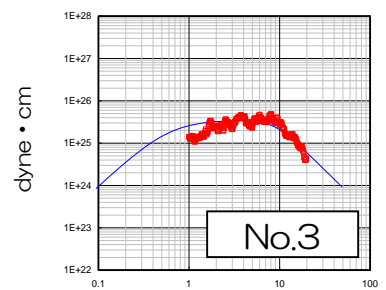
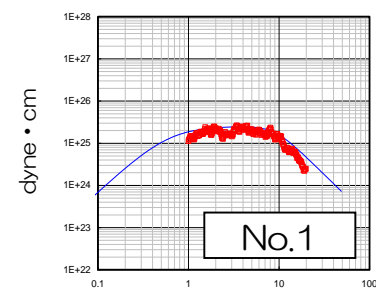
注1) 本検討におけるNIGH019の増幅率については、同定した地盤モデルの(2E [地表] / E [GL-100m])を記載。また、その他の観測点は全て2倍した結果を記載。  
注2) 野津・長尾(2005)による結果は自由表面の影響を含んでいないため2倍して記載。

# ②要素地震に関する検討-a. スペクトルバージョンと要素地震の再見積もり スペクトルインバージョン 震源スペクトル

- 地震モーメントはF-net, 応力降下量（コーナー周波数）は、神原ほか(2006)及び南雲・植竹(2012)の値,  $f_{max}$ はFaccioli(1986)を採用し理論値を算定。
- スペクトルインバージョンにより求められた震源スペクトルは理論スペクトル ( $\omega^2$ モデルの形状) と概ね対応。

## 震源スペクトル

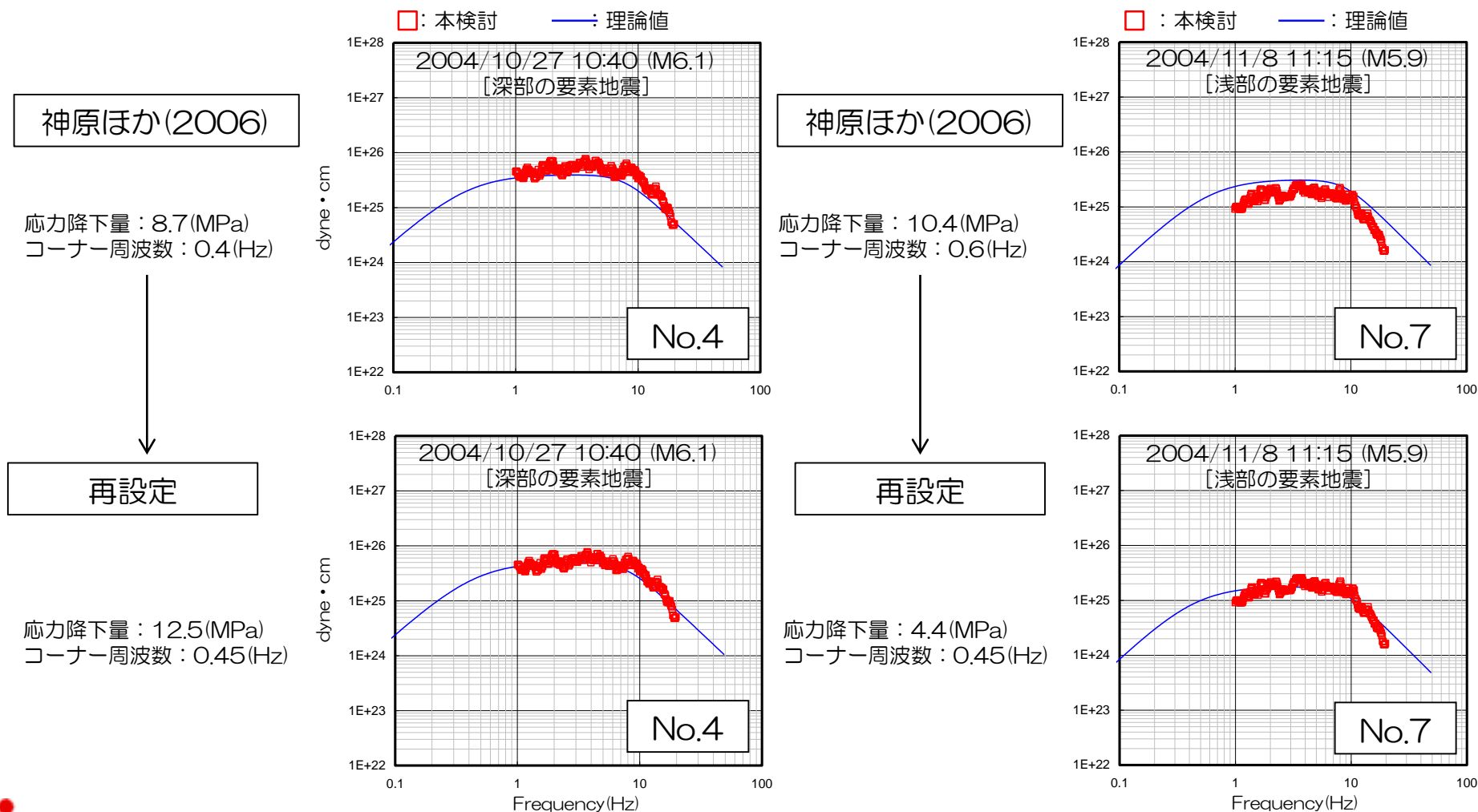
□ : 本検討  
— : 理論値



# ②要素地震に関する検討-a. スペクトルインバージョンと要素地震の再見積もり

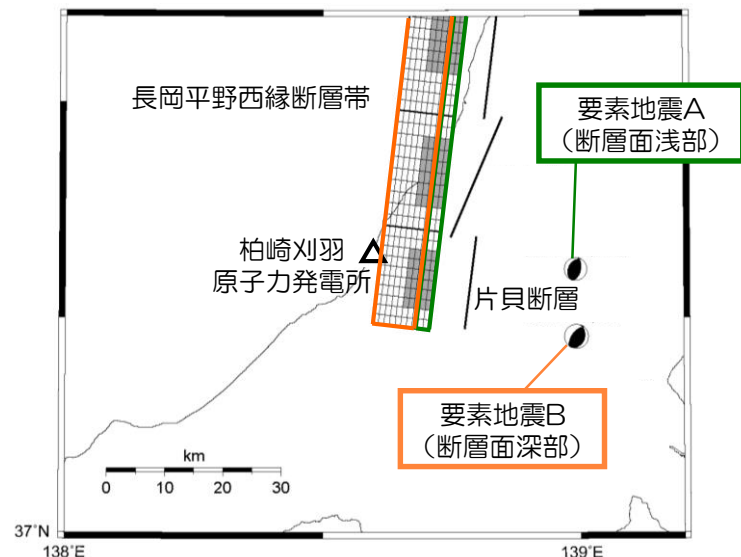
## スペクトルインバージョン 再見積もり

- 神原ほか(2006)による見積もりは概ね妥当と考えられるが、さらに信頼性を向上させるためにスペクトルインバージョンにより求めた震源スペクトルに対してフィッティングが高くなるコーナー周波数を設定し、地震動評価に与える影響を確認。



## ②要素地震に関する検討-a. スペクトルインバージョンと要素地震の再見積もり 地震動評価に与える影響確認

- 長岡平野西縁断層帯による地震（傾斜角50° のケース）において、スペクトルインバージョンの結果を踏まえ要素地震の見積もりを変更した場合、地震動評価結果に与える影響について確認。



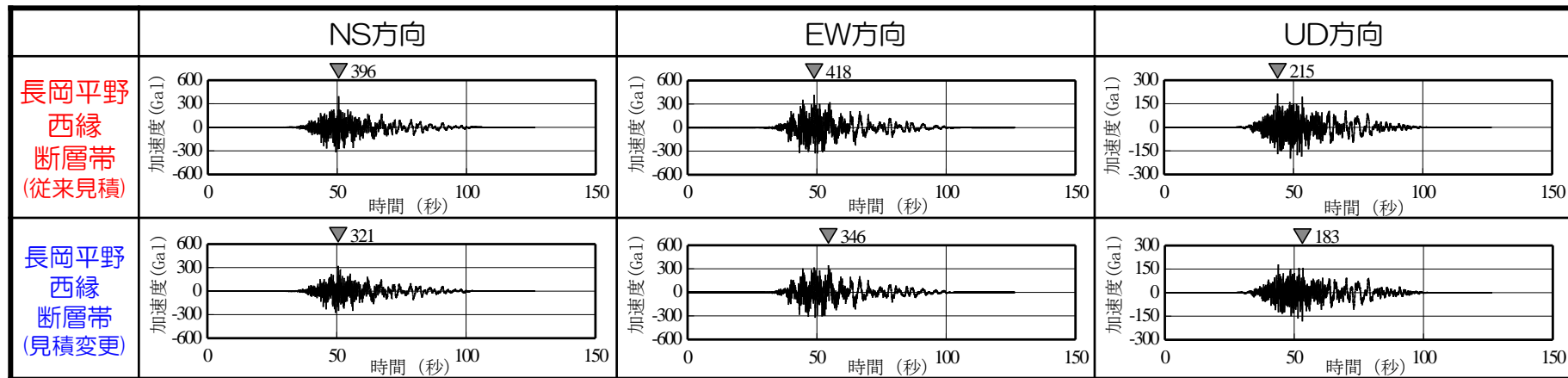
### 要素地震の震源パラメータ

		要素地震A	要素地震B	備考
発生日時		2004/11/8 11:15	2004/10/27 10:40	気象庁
マグニチュード	$M_j$	5.9	6.1	気象庁
	$M_w$	5.5	5.8	F-net
震源位置	東経(°)	138.99	138.99	神原ほか(2006)*
	北緯(°)	37.41	37.31	神原ほか(2006)*
震源深さ(km)		0	11.60	気象庁
		5	11	F-net
走向(°)		13; 209	218; 18	F-net
傾斜(°)		53; 38	60; 32	F-net
すべり角(°)		80; 103	100; 73	F-net
地震モーメント(N·m)		$2.24 \times 10^{17}$	$6.34 \times 10^{17}$	F-net
Q値		$76 f^{0.74}$	$76 f^{0.74}$	岩田ほか(2005)
従来評価	J-ナ周波数(Hz)	0.6	0.4	神原ほか(2006)
	実効応力(MPa)	10.4	8.7	神原ほか(2006)
今回評価	J-ナ周波数(Hz)	0.45	0.45	スペクトルインバージョン
	実効応力(MPa)	4.4	12.5	スペクトルインバージョン

注)長岡平野西縁断層帯の傾斜角50°の断層モデル図にプロット

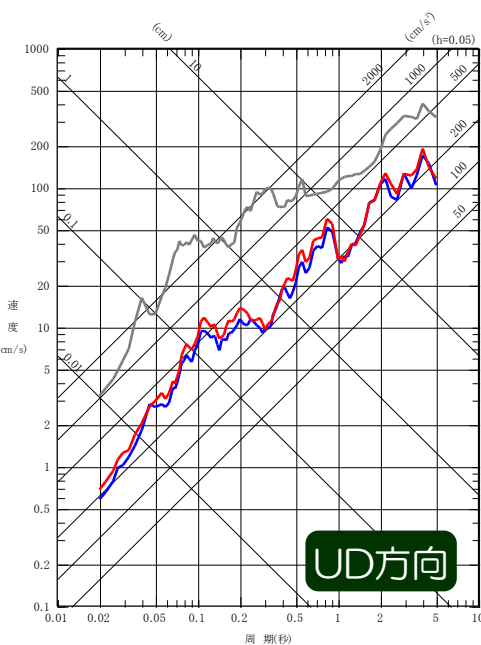
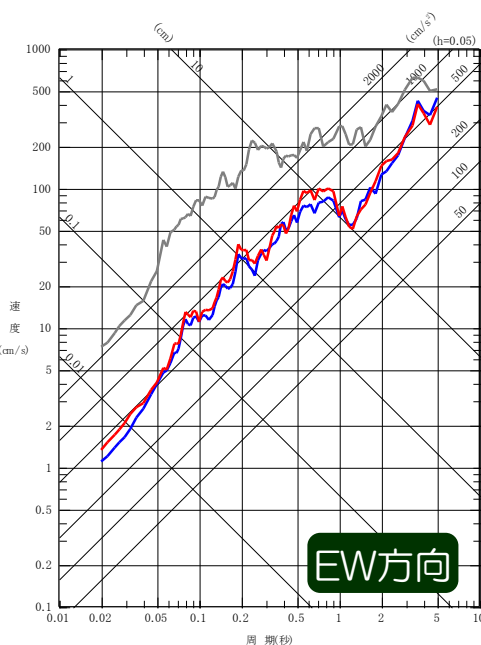
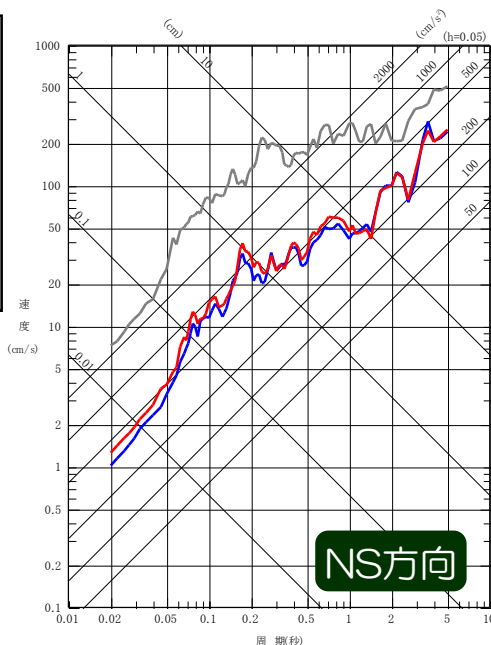
\*日本測地系の座標を世界測地系に変換

# ②要素地震に関する検討-a. 長岡平野西縁断層帯の地震動評価と要素地震の再見積もり 地震動評価に与える影響確認 荒浜側

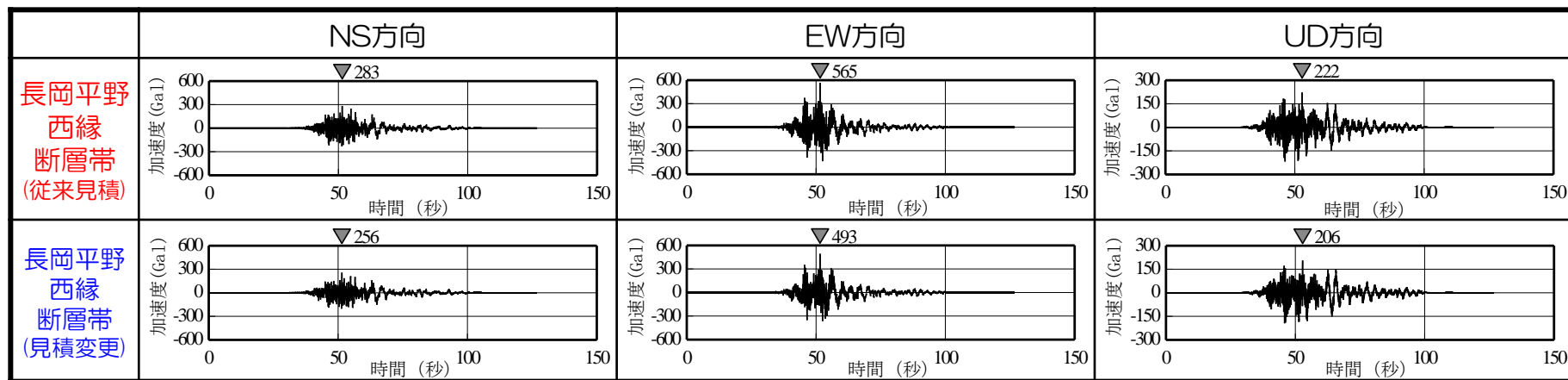


— 長岡平野西縁断層帯 (従来見積)      — 【参考】 基準地震動Ssの包絡スペクトル  
— 長岡平野西縁断層帯 (見積変更)

■ 要素地震の見積もりを変更した場合においても、地震動評価結果に与える影響は小さいことを確認。

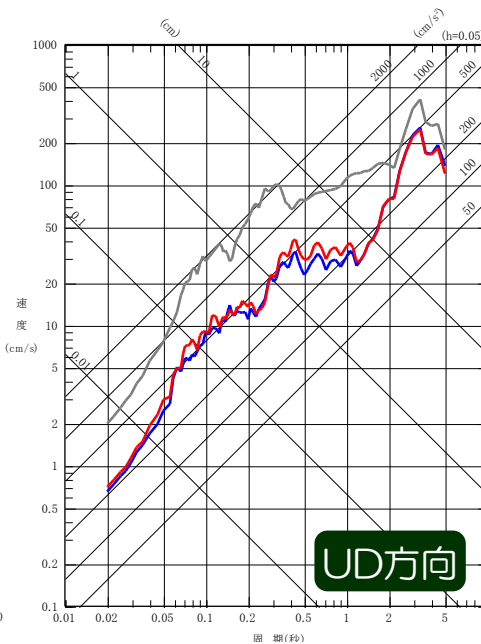
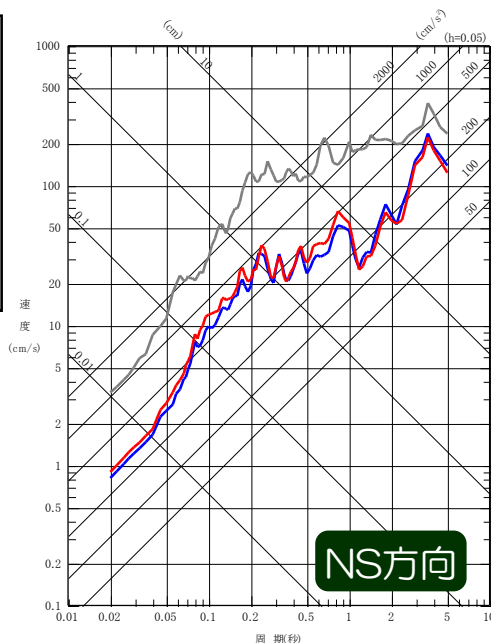


# ②要素地震に関する検討-a. 入°ク/ルイバ-ジ ョンと要素地震の再見積もり 地震動評価に与える影響確認 大湊側



— 長岡平野西縁断層帯 (従来見積)      — 【参考】基準地震動Ssの包絡スペクトル  
— 長岡平野西縁断層帯 (見積変更)

■ 要素地震の見積もりを変更した場合においても、地震動評価結果に与える影響は小さいことを確認。





# 評価の妥当性に関する検討

## ①中越地震のシミュレーション解析

- a. 経験的グリーン関数法（EGF）
- b. 統計的グリーン関数法（SGF）

## ②要素地震に関する検討

- a. スペクトルインバージョンによる要素地震の再見積もり及び影響確認
- b. 1つの要素地震を用いたケース
- c. 角田・弥彦及び気比ノ宮断層（北部の断層）の要素地震を変更したケース
- d. 要素地震に関する検討のまとめ

## ③まとめ

## ②要素地震に関する検討-b. 1つの要素地震を用いたケース 評価条件

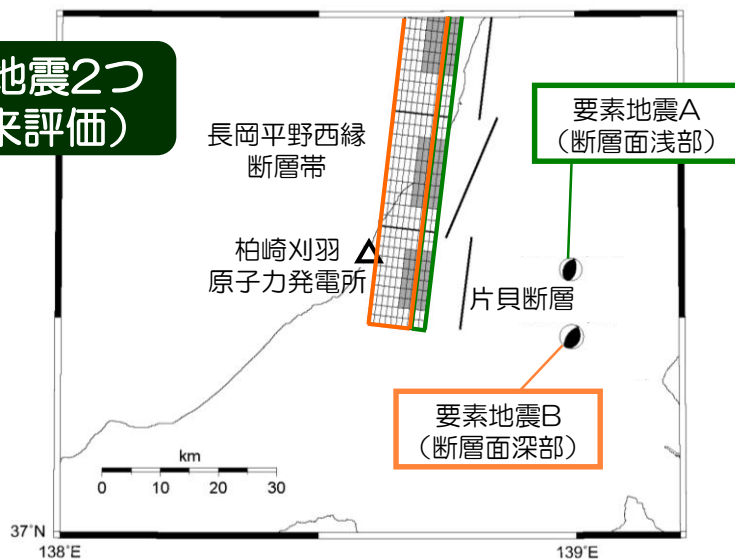
- 長岡平野西縁断層帯（傾斜角 $50^\circ$ のケース）において要素地震を1つとした場合の地震動評価を行い影響を確認。
- 要素地震は、中越地震の余震のうち、深部に適用した2004年10月27日の地震（要素地震B）を全断層面に採用。

### 要素地震の震源パラメータ

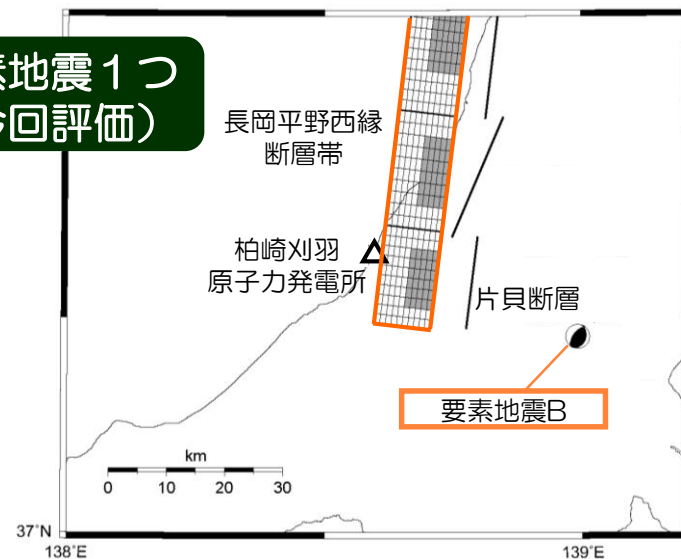
		要素地震A	要素地震B	備考
発生日時		2004/11/8 11:15	2004/10/27 10:40	気象庁
マグニチュード	$M_j$	5.9	6.1	気象庁
	$M_w$	5.5	5.8	F-net
震源位置	東経( $^\circ$ )	138.99	138.99	神原ほか(2006) <sup>*</sup>
	北緯( $^\circ$ )	37.41	37.31	神原ほか(2006) <sup>*</sup>
震源深さ(km)		0	11.60	気象庁
		5	11	F-net
走向( $^\circ$ )		13 ; 209	218 ; 18	F-net
傾斜( $^\circ$ )		53 ; 38	60 ; 32	F-net
すべり角( $^\circ$ )		80 ; 103	100 ; 73	F-net
地震モーメント(N·m)		$2.24 \times 10^{17}$	$6.34 \times 10^{17}$	F-net
コーナー周波数(Hz)		0.6	0.4	神原ほか(2006)
実効応力(MPa)		10.4	8.7	神原ほか(2006)
Q値		$76 f^{0.74}$	$76 f^{0.74}$	岩田ほか(2005)

※日本測地系の座標を世界測地系に変換

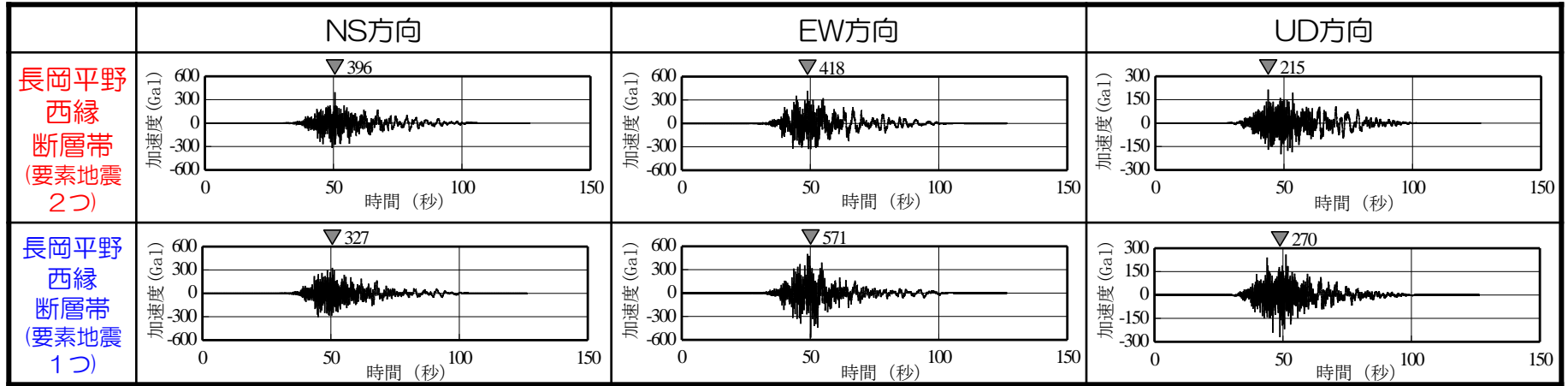
### 要素地震2つ (従来評価)



### 要素地震1つ (今回評価)

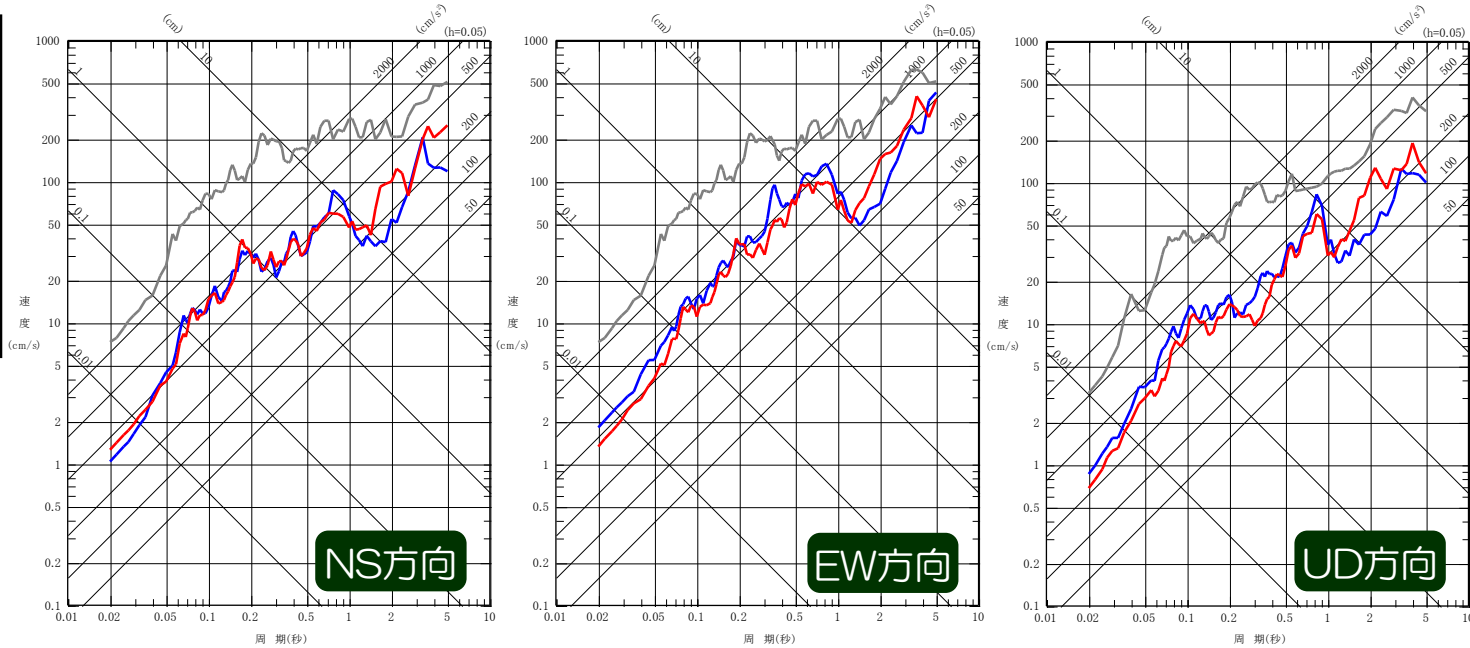


# ②要素地震に関する検討-b. 1つの要素地震を用いたケース 評価結果 荒浜側

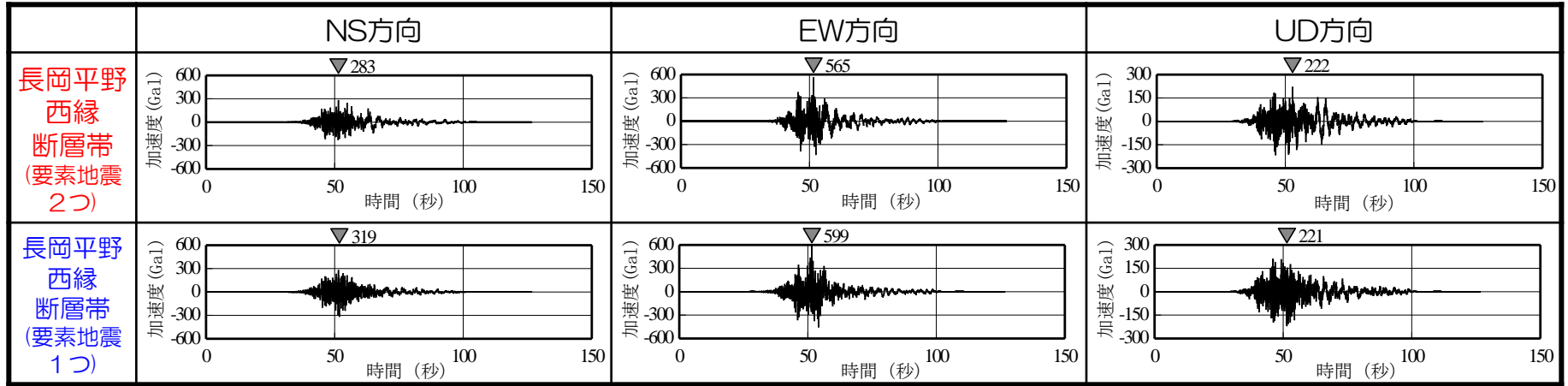


— 長岡平野西縁断層帯 (要素地震2つ)    — 長岡平野西縁断層帯 (要素地震1つ)    — 【参考】基準地震動Ssの包絡スペクトル

■ 短周期側は、概ね同程度の地震動レベルであり、長周期側は、2つの要素地震を用いた評価が保守的となっていることを確認。

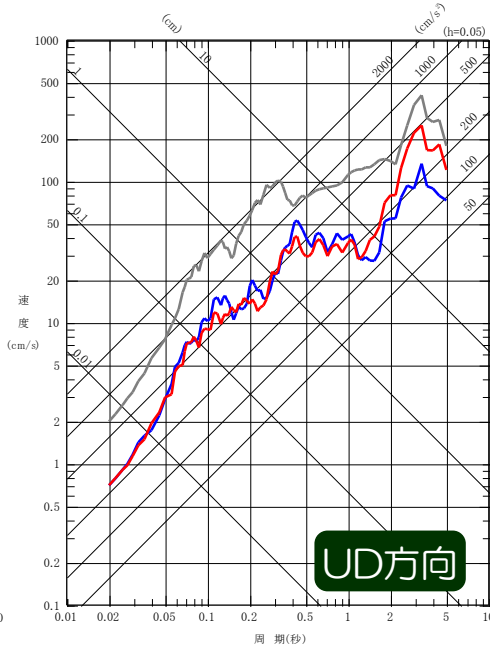
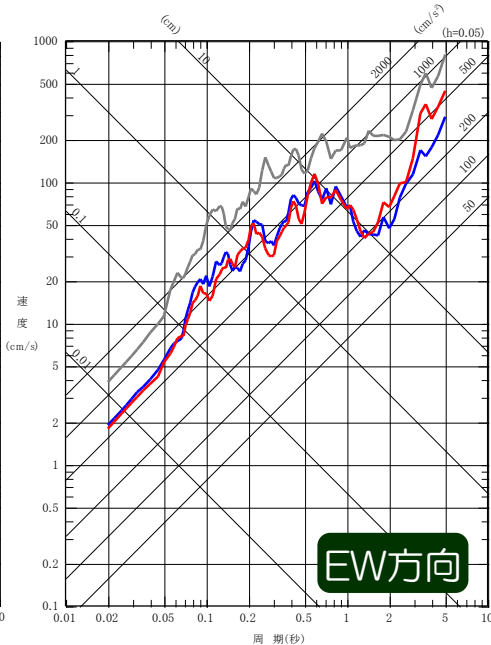
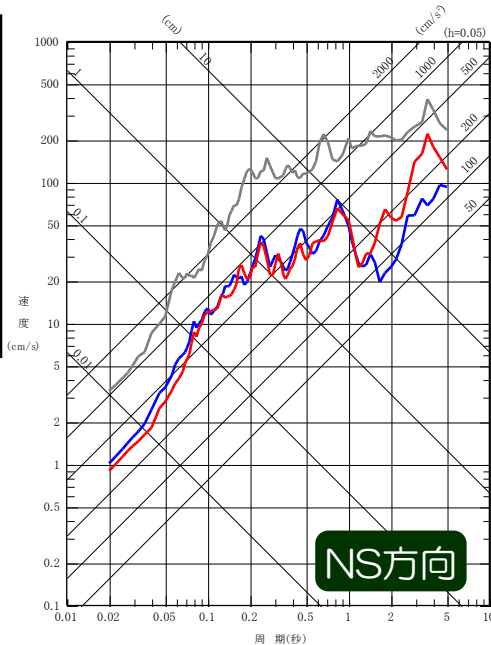


# ②要素地震に関する検討-b. 1つの要素地震を用いたケース 評価結果 大湊側



— 長岡平野西縁断層帯 (要素地震2つ)    — 長岡平野西縁断層帯 (要素地震1つ)    — 【参考】基準地震動Ssの包絡スペクトル

■ 短周期側は、概ね同程度の地震動レベルであり、長周期側は、2つの要素地震を用いた評価が保守的となっていることを確認。



# 評価の妥当性に関する検討

## ①中越地震のシミュレーション解析

- a. 経験的グリーン関数法（EGF）
- b. 統計的グリーン関数法（SGF）

## ②要素地震に関する検討

- a. スペクトルインバージョンによる要素地震の再見積もり及び影響確認
- b. 1つの要素地震を用いたケース
- c. 角田・弥彦及び気比ノ宮断層（北部の断層）の要素地震を変更したケース
- d. 要素地震に関する検討のまとめ

## ③まとめ

## ②要素地震に関する検討-c. 北部の断層の要素地震を変更したケース 要素地震の抽出

- 評価に用いている要素地震は、敷地東方から到来する地震動であることを踏まえ、片貝断層より北方に位置する角田・弥彦断層及び気比ノ宮断層の想定断層面の地震発生状況を整理し、これらの断層に対して要素地震として適用可能な記録の有無について確認。
- 観測記録はわずかではあるものの、F-B断層による地震の地震動評価に用いている要素地震(No.128)が候補として考えられることを確認。

### 抽出フロー

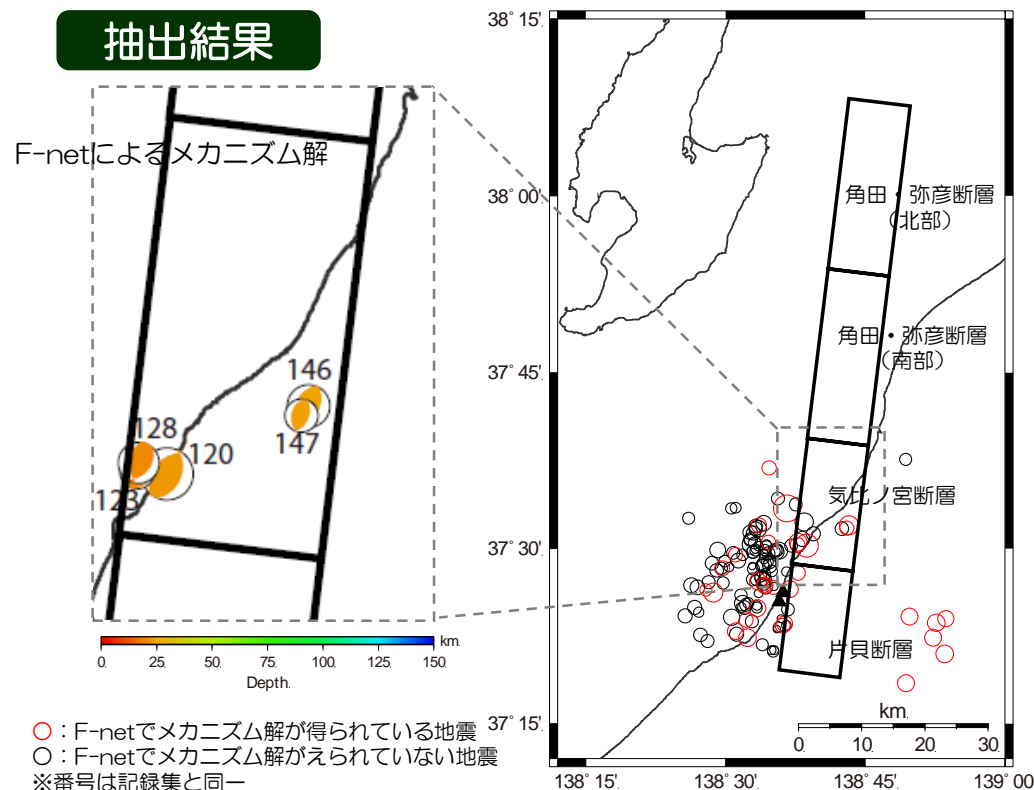
①原子炉建屋基礎版上において荒浜側・大湊側の両方で記録を取得。

②角田・弥彦断層あるいは気比ノ宮断層の想定断層面付近で発生。

③要素地震の見積もりを適切に行うために複数のKiK-net観測点で記録を取得。

④F-netにおいてメカニズム解が得られている。

### 抽出結果



No.	発生日時	地震規模	KiK-net 取得観測点数	F-net メカニズム解
120	2007/7/16 15:37	5.8	多数	○
123	2007/7/16 16:54	3.7	16	○
128	2007/7/16 21:08	4.4	多数	○
146	2007/7/25 06:52	4.8	多数	○
147	2007/7/25 07:25	3.5	8	○

- 地震規模及びこれまでの要素地震の見積もり等に関する検討実績などを考慮し、No.128の地震を選定。

## ②要素地震に関する検討-c. 北部の断層の要素地震を変更したケース 要素地震の割り当て

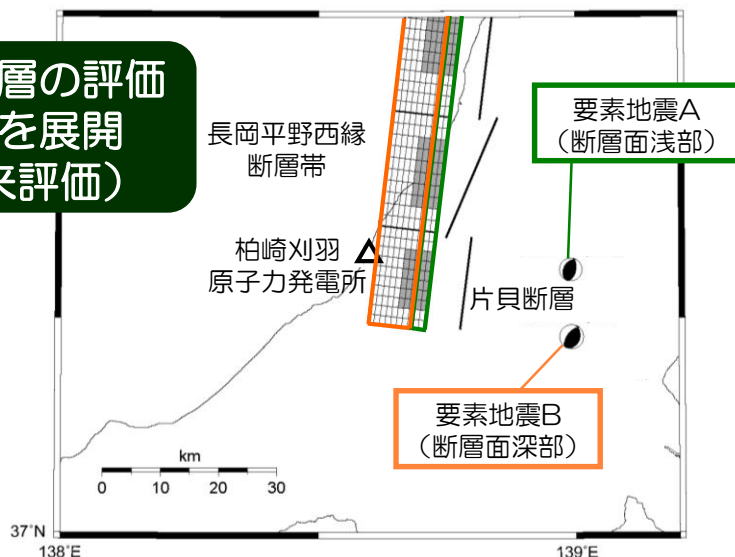
■ 長岡平野西縁断層帯（傾斜角  $50^\circ$  のケース）において、片貝断層より北部の断層（角田・弥彦及び気比ノ宮断層）に対して、F-B断層の評価に用いた要素地震(No.128)を採用した場合の地震動評価を行い影響を確認。

### 要素地震の震源パラメータ

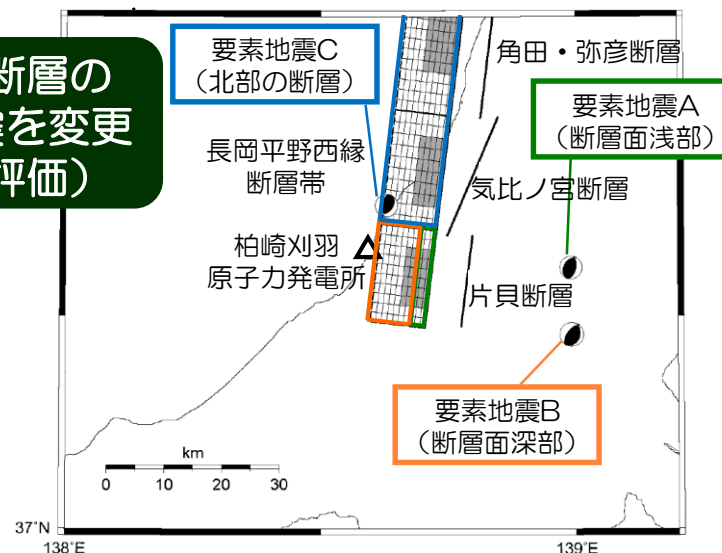
	要素地震A	要素地震B	備考	要素地震C	備考
発生日時	2004/11/8 11:15	2004/10/27 10:40	気象庁	2007/7/16 21:08	気象庁
マグニチュード	$M_j$	5.9	気象庁	4.4	気象庁
	$M_w$	5.5	F-net	4.4	F-net
震源位置	東経( $^\circ$ )	138.99	※	138.63	気象庁
	北緯( $^\circ$ )	37.41	※	37.51	気象庁
震源深さ(km)	0	11.60	気象庁	13.6	余震分布を踏まえ設定
	5	11	F-net		
走向( $^\circ$ )	13; 209	218; 18	F-net	187; 39	F-net
傾斜( $^\circ$ )	53; 38	60; 32	F-net	54; 41	F-net
すべり角( $^\circ$ )	80; 103	100; 73	F-net	70; 115	F-net
地震モーメント(N·m)	$2.24 \times 10^{17}$	$6.34 \times 10^{17}$	F-net	$5.21 \times 10^{15}$	F-net
コーナー周波数(Hz)	0.6	0.4	神原ほか(2006)	1.65	Brune(1970)式
実効応力(MPa)	10.4	8.7	神原ほか(2006)	4.6	芝(2008)
Q値	$76 f^{0.74}$	$76 f^{0.74}$	岩田ほか(2005)	$76 f^{0.74}$	岩田ほか(2005)

※神原ほか(2006)による日本測地系の座標を世界測地系に変換

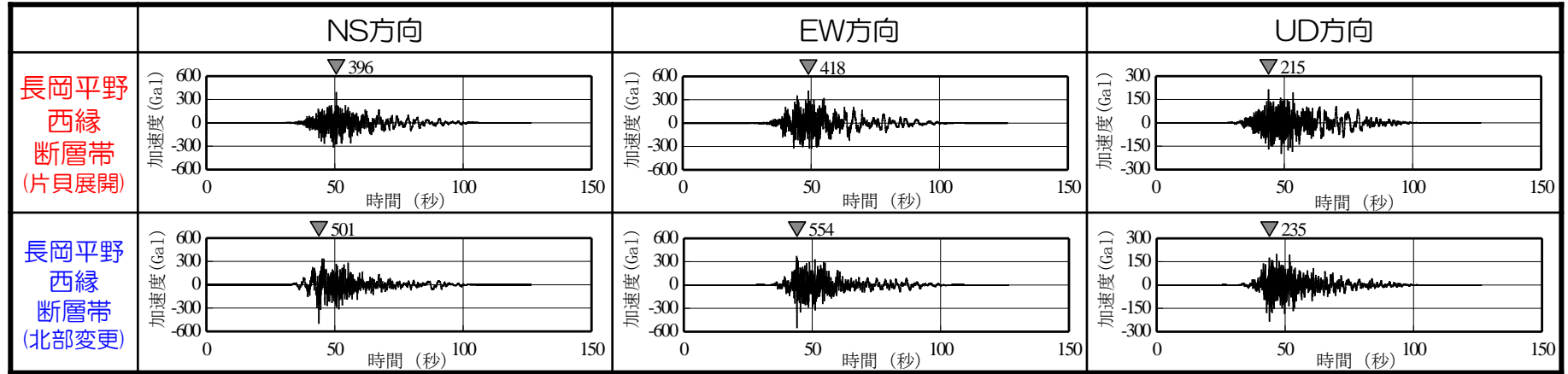
### 片貝断層の評価 手法を展開 (従来評価)



### 北部の断層の 要素地震を変更 (今回評価)

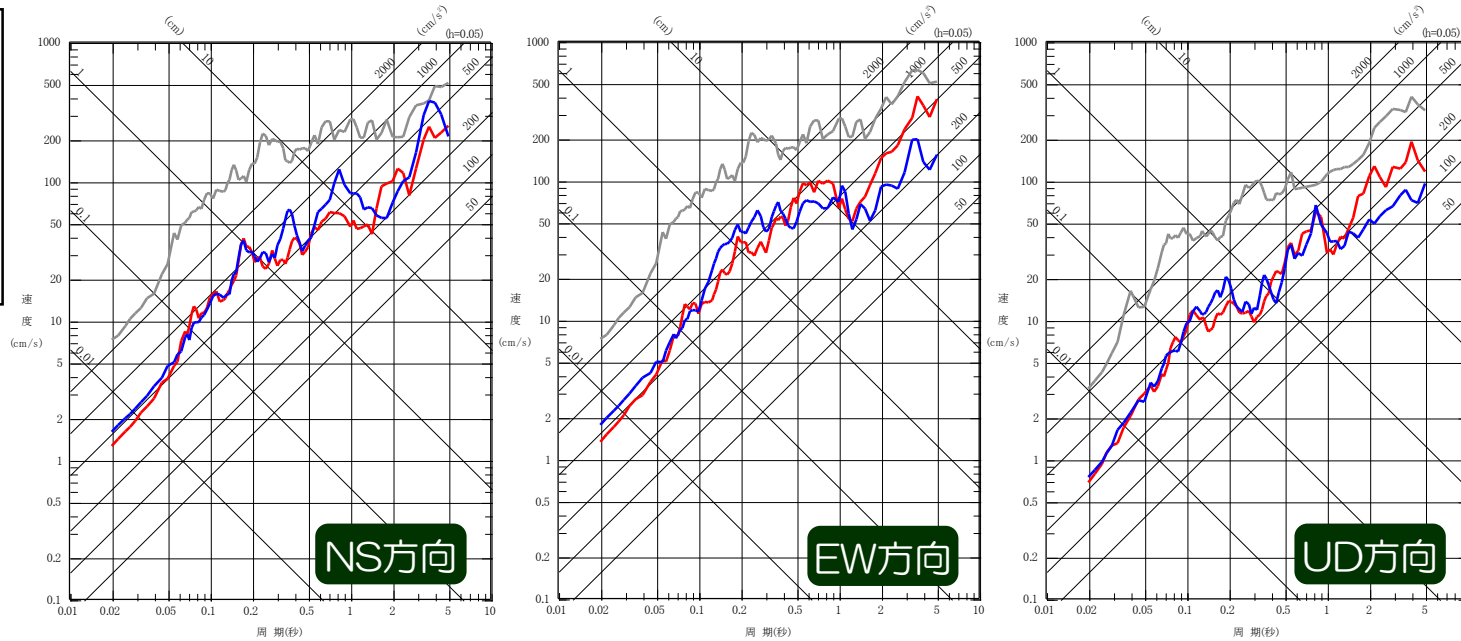


# ②要素地震に関する検討-c. 北部の断層の要素地震を変更したケース 評価結果 荒浜側



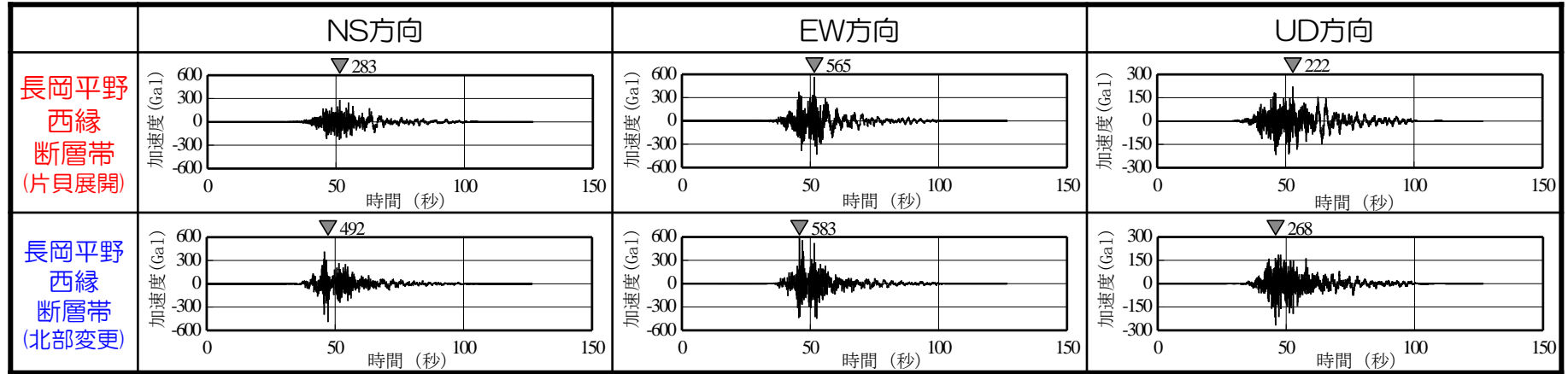
— 長岡平野西縁断層帯 (片貝展開)      — 【参考】基準地震動Ssの包絡スペクトル  
— 長岡平野西縁断層帯 (北部変更)

■ 短周期側は、概ね同程度の地震動レベルであり、長周期側は、現状の評価が保守的な傾向にあることを確認。



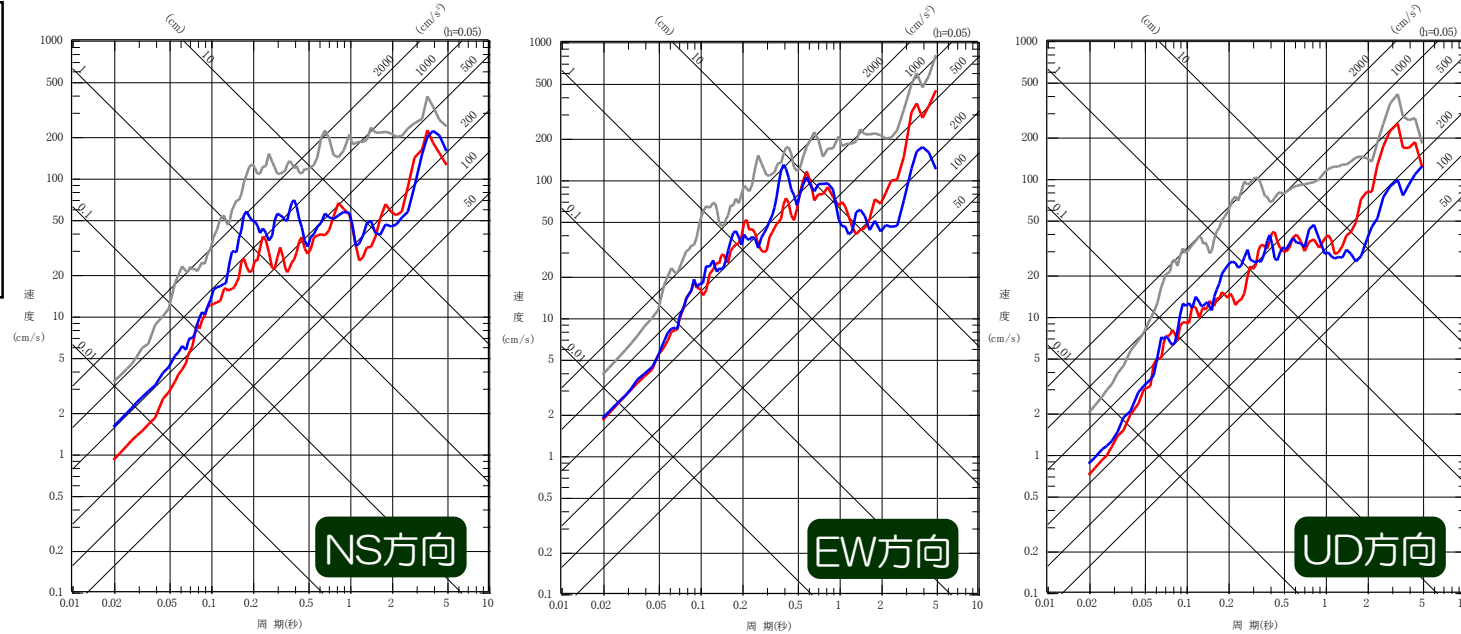


# ②要素地震に関する検討-c. 北部の断層の要素地震を変更したケース 評価結果 大湊側



— 長岡平野西縁断層帯 (片貝展開)      — 【参考】 基準地震動Ssの包絡スペクトル  
— 長岡平野西縁断層帯 (北部変更)

■ 短周期側は、概ね同程度の地震動レベルであり、長周期側は、現状の評価が保守的な傾向にあることを確認。



# 評価の妥当性に関する検討

## ①中越地震のシミュレーション解析

- a. 経験的グリーン関数法（EGF）
- b. 統計的グリーン関数法（SGF）

## ②要素地震に関する検討

- a. スペクトルインバージョンによる要素地震の再見積もり及び影響確認
- b. 1つの要素地震を用いたケース
- c. 角田・弥彦及び気比ノ宮断層（北部の断層）の要素地震を変更したケース
- d. 要素地震に関する検討のまとめ

## ③まとめ

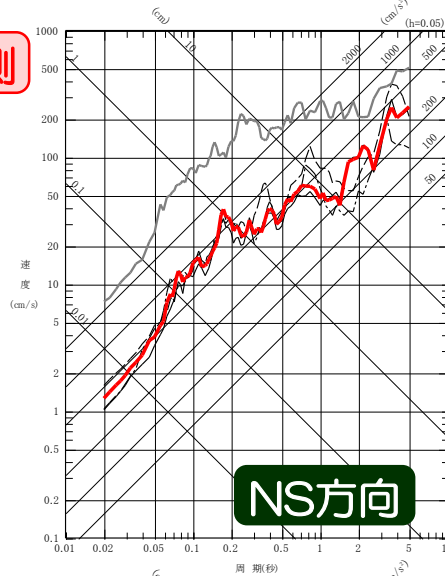
# ②要素地震に関する検討-d. 要素地震に関する検討のまとめ

■ 長岡平野西縁断層帯による地震の経験的グリーン関数法で用いる要素地震について、検討を実施した。

■ 要素地震を変更したケースを複数設定し、長岡平野西縁断層帯による地震の地震動評価結果を比較。

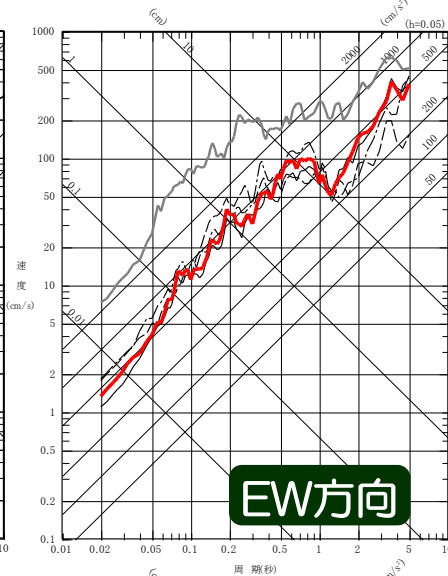
■ 比較の結果、短周期側ではほぼ同程度であり、長周期側については、従来の評価方法が保守的な傾向にあることを確認した。

荒浜側



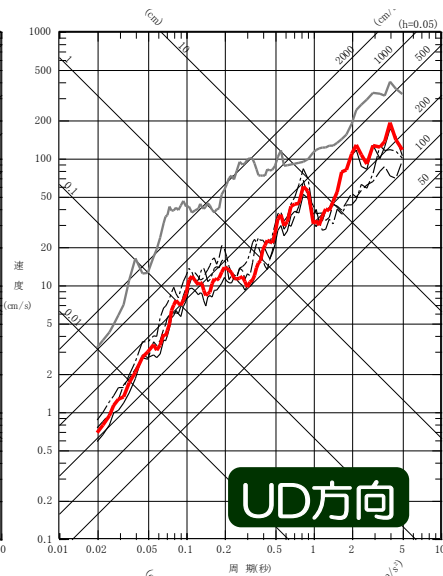
NS方向

— 従来評価  
— 要素地震見積もり修正  
- - - 要素地震1つ  
— 基準地震動Ssの包絡スペクトル



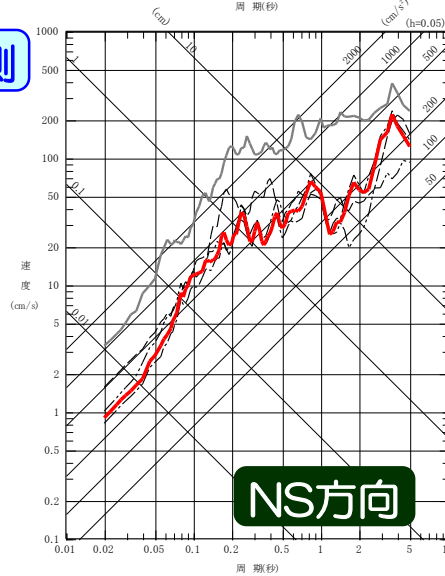
EW方向

- - - 要素地震1つ  
- - - 北部断層の要素地震変更

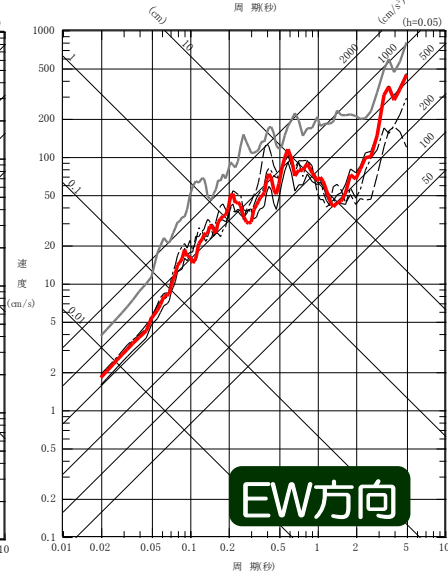


UD方向

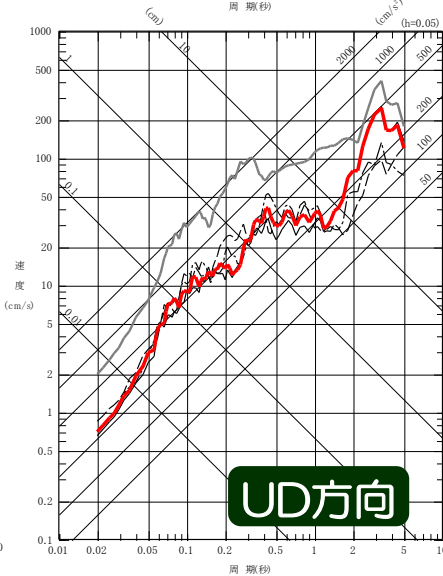
大湊側



NS方向



EW方向



UD方向

# 評価の妥当性に関する検討

## ①中越地震のシミュレーション解析

- a. 経験的グリーン関数法（EGF）
- b. 統計的グリーン関数法（SGF）

## ②要素地震に関する検討

- a. スペクトルインバージョンによる要素地震の再見積もり及び影響確認
- b. 1つの要素地震を用いたケース
- c. 角田・弥彦及び気比ノ宮断層（北部の断層）の要素地震を変更したケース
- d. 要素地震に関する検討のまとめ

## ③まとめ

### ③まとめ

- ①中越地震の震源モデルを用いた評価手法に関する検討（要素地震の選定，統計的グリーン関数法による評価）及び②要素地震に関する検討を踏まえ，長岡平野西縁断層帯による地震の断層モデルを用いた手法による地震動評価結果は，妥当なものであると考えられる。

#### 荒浜側・大湊側共通

- 中越地震のシミュレーション解析では，概ね同程度の地震動レベルではあるものの，統計的グリーン関数法と比較し，経験的グリーン関数法による評価結果が，記録の再現性が高いことを確認。よって，経験的グリーン関数法により評価することは妥当であると考えられる。
- また，浅部・深部の2つの要素地震を採用した場合に，観測記録の再現性がより高いことから，同様の手法を用いて長岡平野西縁断層帯による地震の地震動評価を実施することは妥当であると考えられる。
- さらに，要素地震の見積もりに関する検討，要素地震を変更した検討結果により，現状の評価手法は，長周期側で保守的な傾向になっていることから，評価は妥当なものであると考えられる。

## 1. 地震発生層の設定

## 2. 検討用地震の選定

- 2.1 孤立した短い活断層
- 2.2 副次的な断層等
- 2.3 被害地震の選定
- 2.4 検討用地震の選定

## 3. F-B断層による地震の地震動評価

- 3.1 震源モデルの設定と不確かさの考え方
- 3.2 応答スペクトルに基づく地震動評価
- 3.3 断層モデルを用いた手法による地震動評価
- 3.4 評価の妥当性に関する検討

## 4. 長岡平野西縁断層帯による地震の地震動評価

- 4.1 震源モデルの設定と不確かさの考え方
- 4.2 応答スペクトルに基づく地震動評価
- 4.3 断層モデルを用いた手法による地震動評価
- 4.4 評価の妥当性に関する検討

## 5. 基準地震動の策定

## 6. 佐渡島南方～魚津断層帯による地震の地震動評価

# 基準地震動の策定

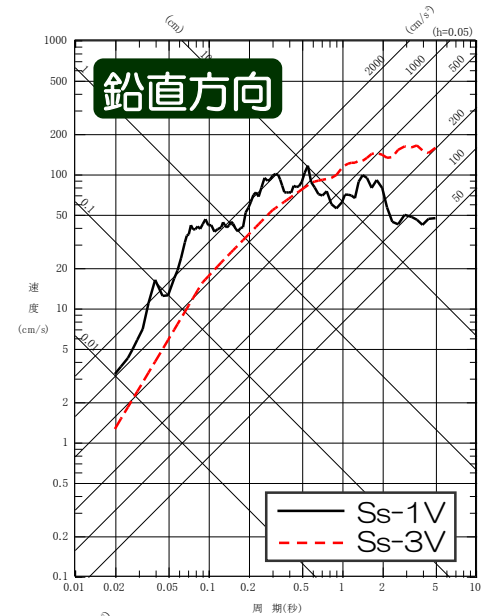
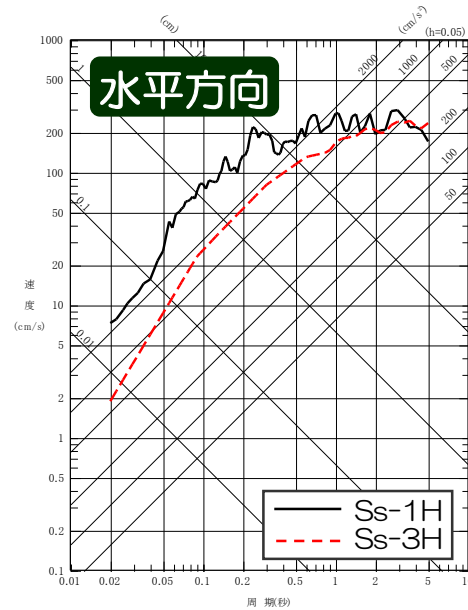
- 検討用地震である『F-B断層による地震』，『長岡平野西縁断層帯による地震』の応答スペクトルに基づく地震動評価及び断層モデルを用いた手法による地震動評価の結果を踏まえて基準地震動Ss-1～7を策定。

【基準地震動の最大加速度値】

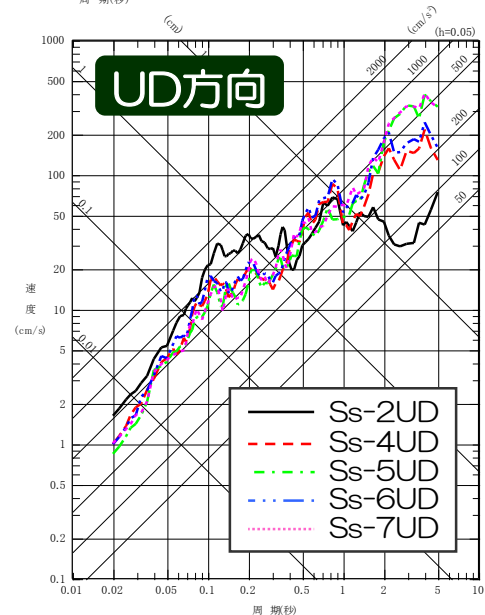
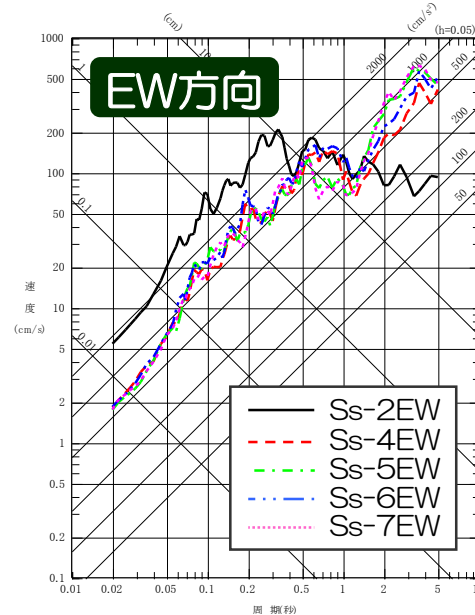
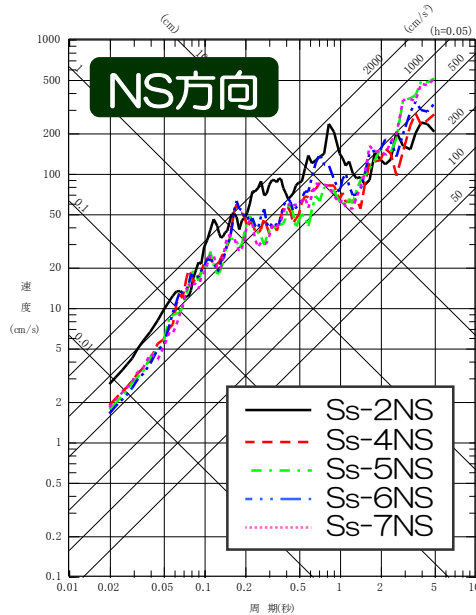
基準地震動	検討用地震		最大加速度値 (Gal)						
			荒浜側			大湊側			
			NS方向	EW方向	UD方向	NS方向	EW方向	UD方向	
Ss-1	F-B断層による地震	応答スペクトルに基づく地震動評価		2300		1050	1050		650
Ss-2		断層モデルを用いた手法による地震動評価		847	1703	510	848	1209	466
Ss-3	長岡平野西縁断層帯による地震	応答スペクトルに基づく地震動評価	応力降下量1.5倍及び断層傾斜角35°ケースを包絡	600		400	600		400
Ss-4		断層モデルを用いた手法による地震動評価	応力降下量1.5倍	589	574	314	428	826	332
Ss-5			断層傾斜角35°	553	554	266	426	664	346
<b>Ss-6</b>			<b>連動+応力降下量1.5倍</b>	<b>510</b>	<b>583</b>	<b>313</b>	<b>434</b>	<b>864</b>	<b>361</b>
Ss-7			<b>連動+断層傾斜角35°</b>	<b>570</b>	<b>557</b>	<b>319</b>	<b>389</b>	<b>780</b>	<b>349</b>

# 基準地震動の策定 擬似速度応答スペクトル（荒浜側）

応答スペクトルに基づく地震動評価による基準地震動



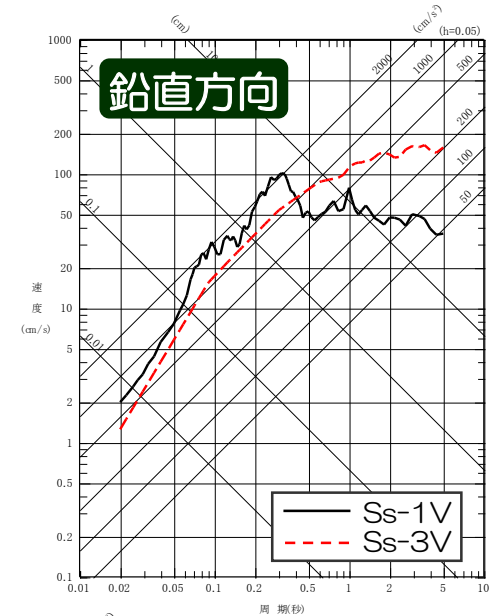
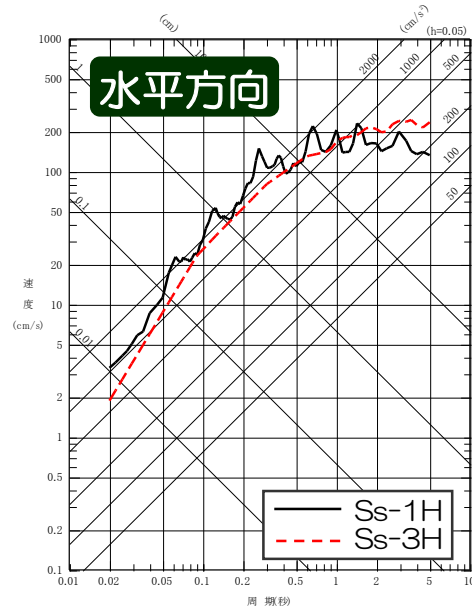
断層モデルを用いた手法による地震動評価による基準地震動



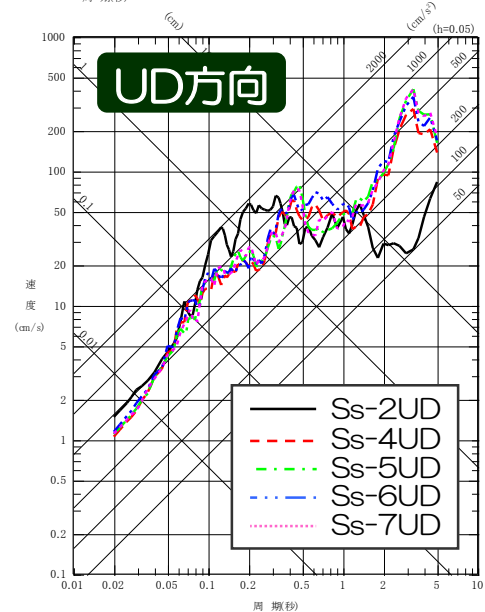
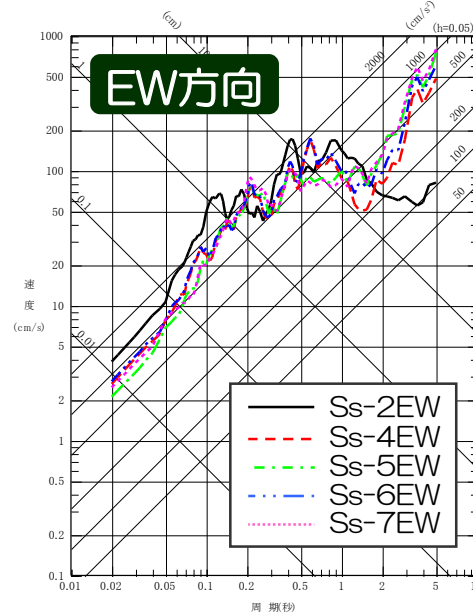
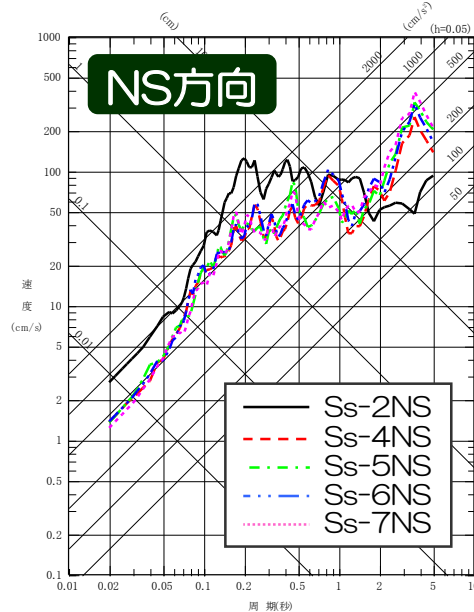


# 基準地震動の策定 擬似速度応答スペクトル（大湊側）

応答スペクトルに基づく地震動評価による基準地震動



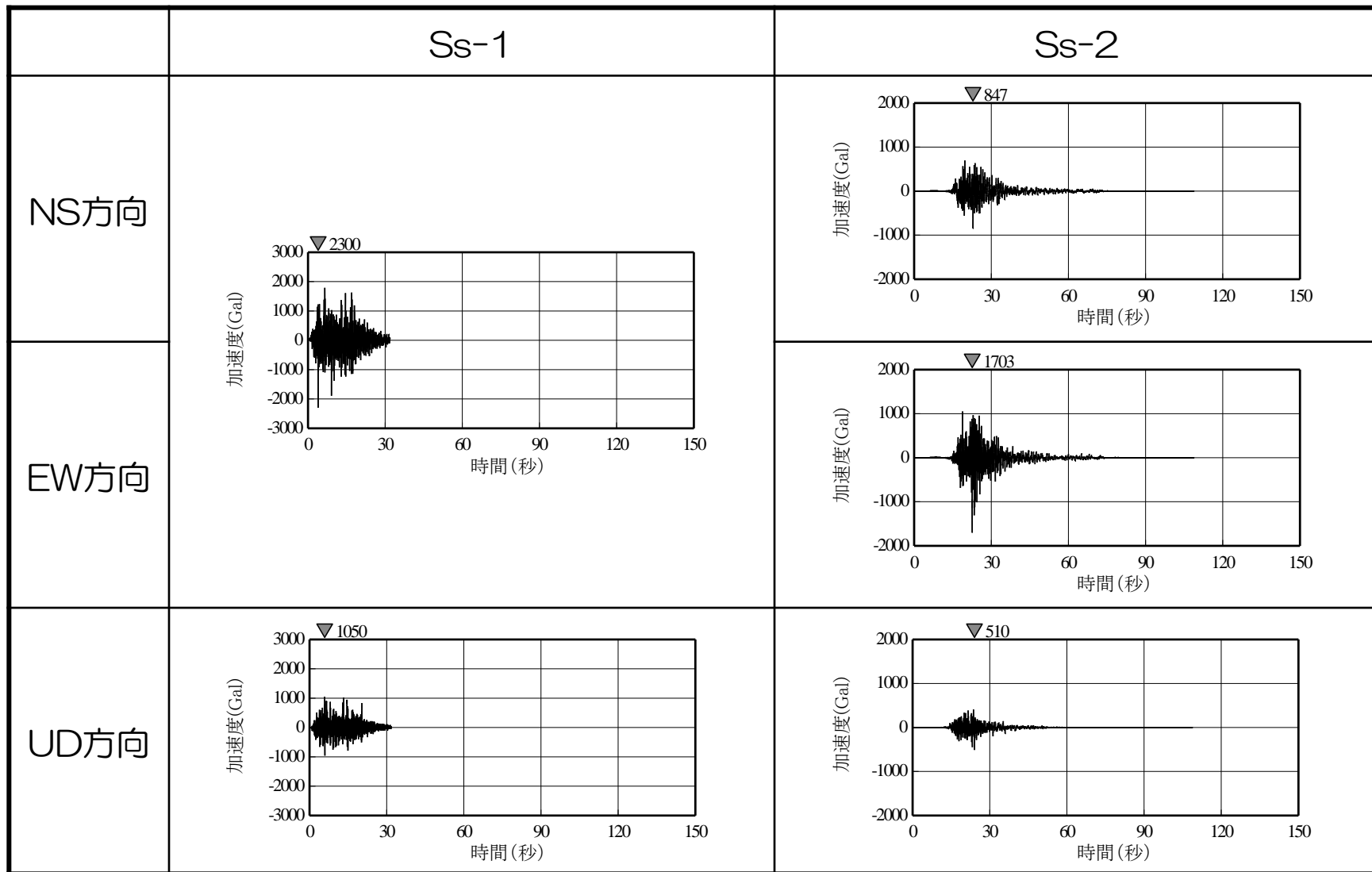
断層モデルを用いた手法による地震動評価による基準地震動



# 基準地震動の策定 加速度時刻歴波形 その1

荒浜側

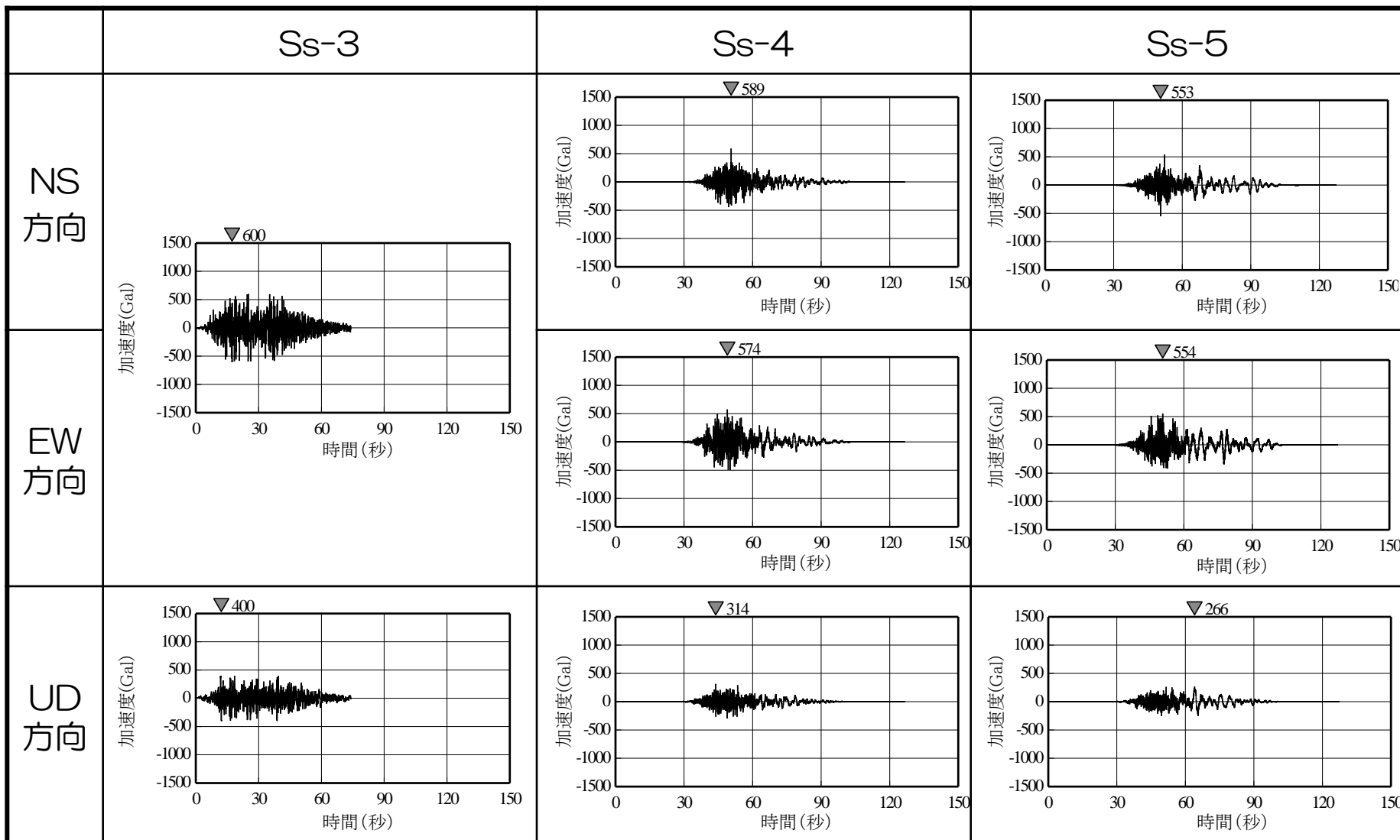
基準地震動Ss-1, 2の加速度時刻歴波形



# 基準地震動の策定 加速度時刻歴波形 その2

荒浜側

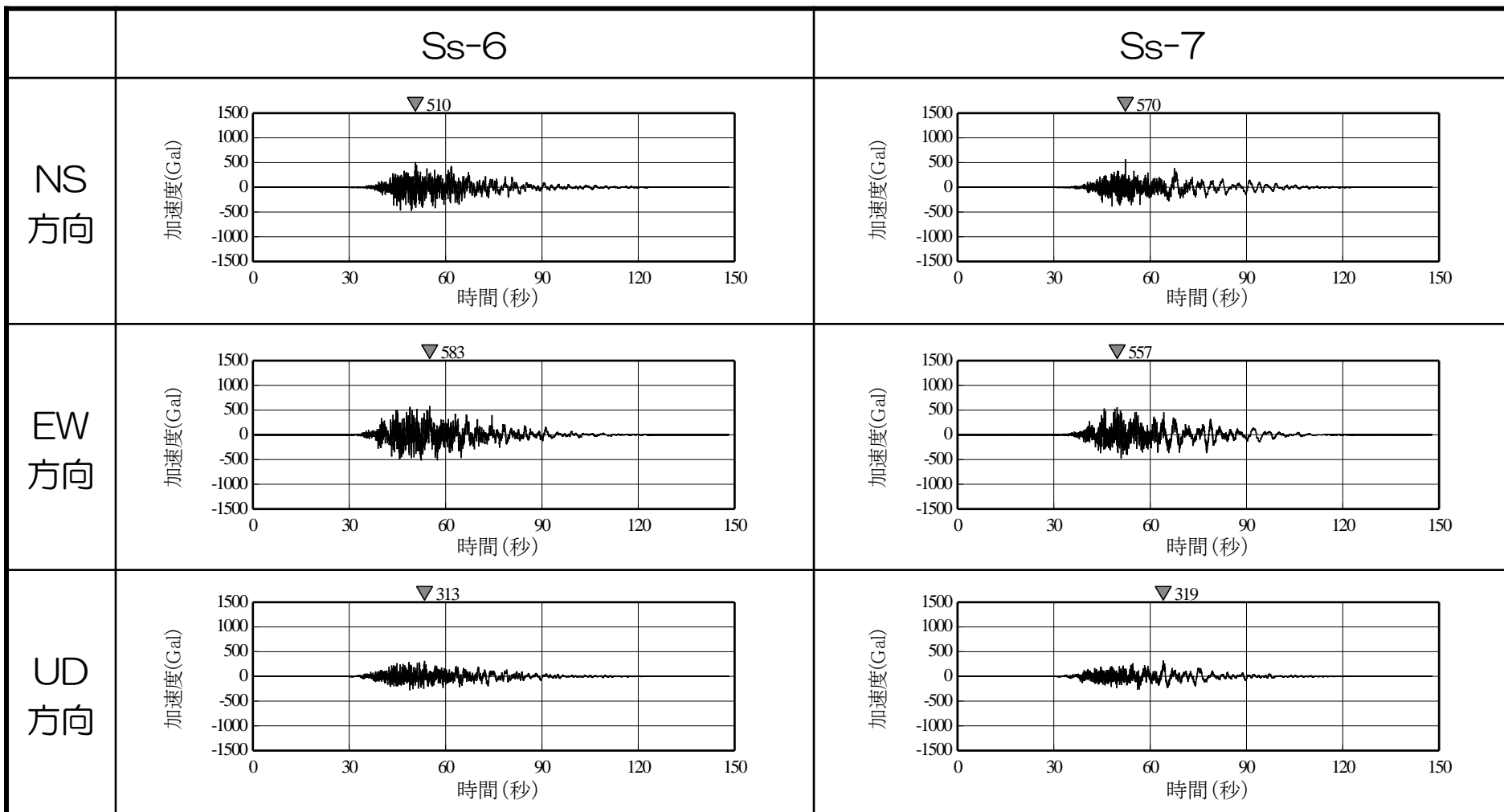
基準地震動Ss-3, 4, 5の加速度時刻歴波形



# 基準地震動の策定 加速度時刻歴波形 その3

荒浜側

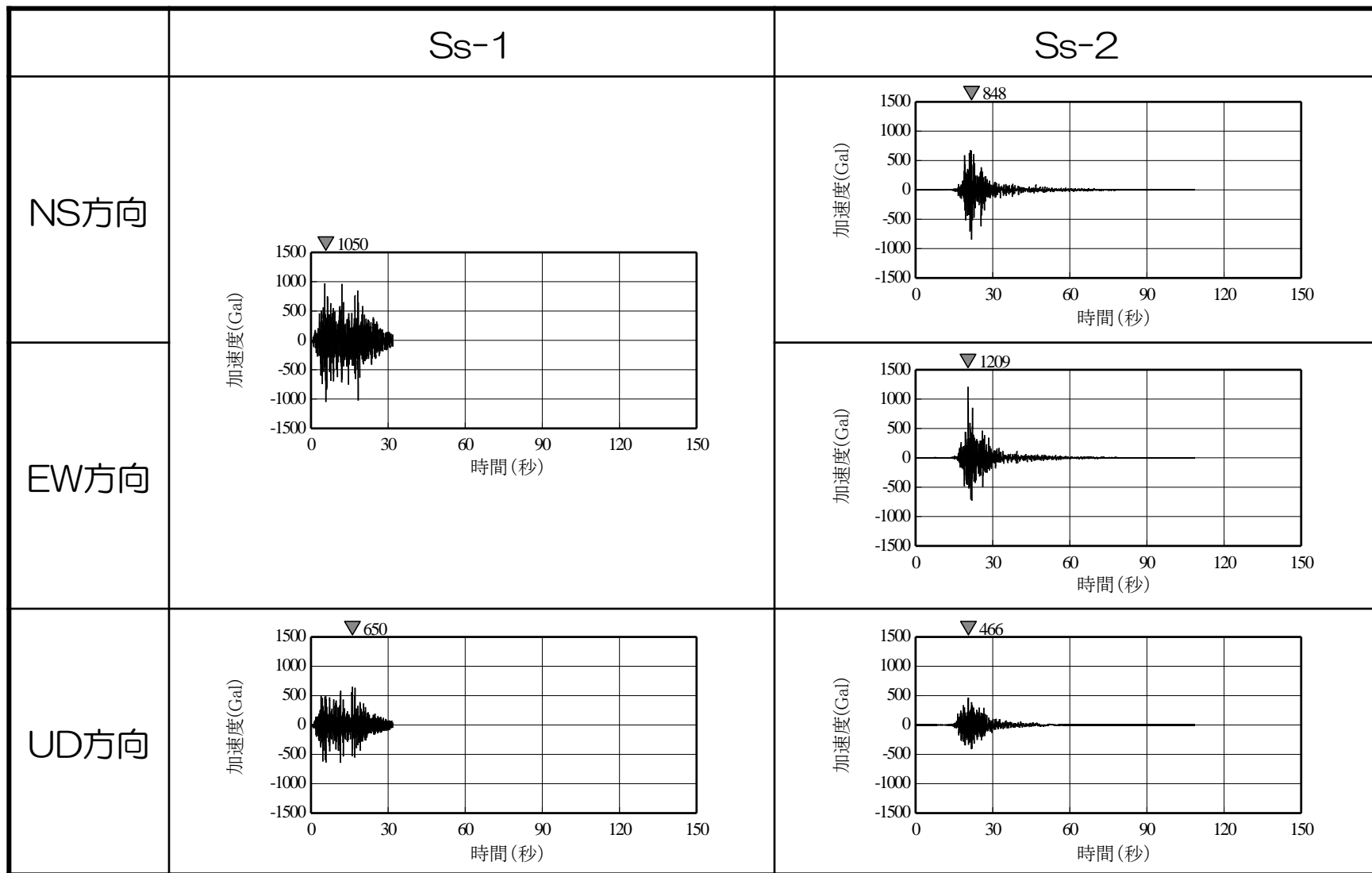
基準地震動Ss-6, 7の加速度時刻歴波形



# 基準地震動の策定 加速度時刻歴波形 その4

大湊側

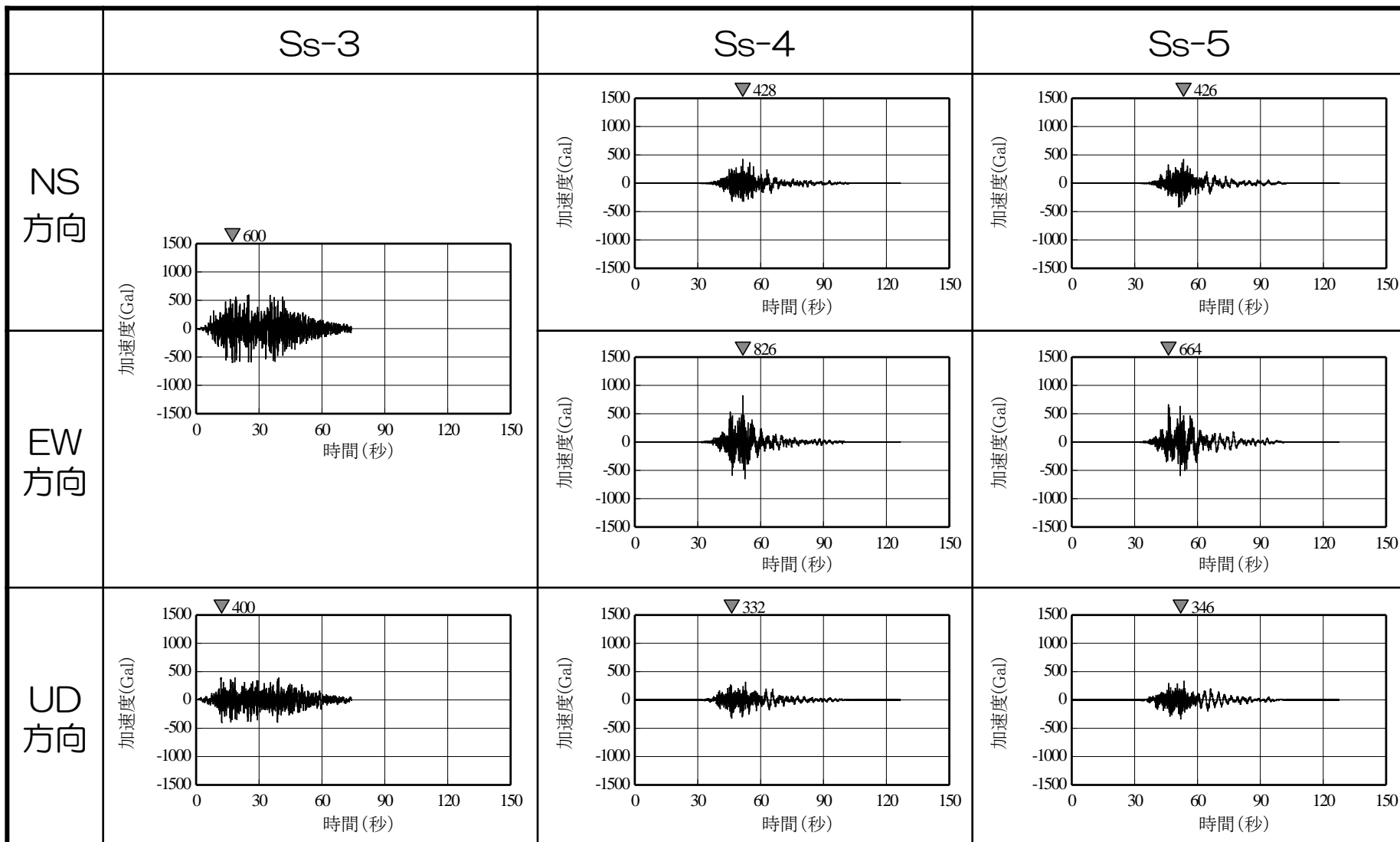
基準地震動Ss-1, 2の加速度時刻歴波形



# 基準地震動の策定 加速度時刻歴波形 その5

大湊側

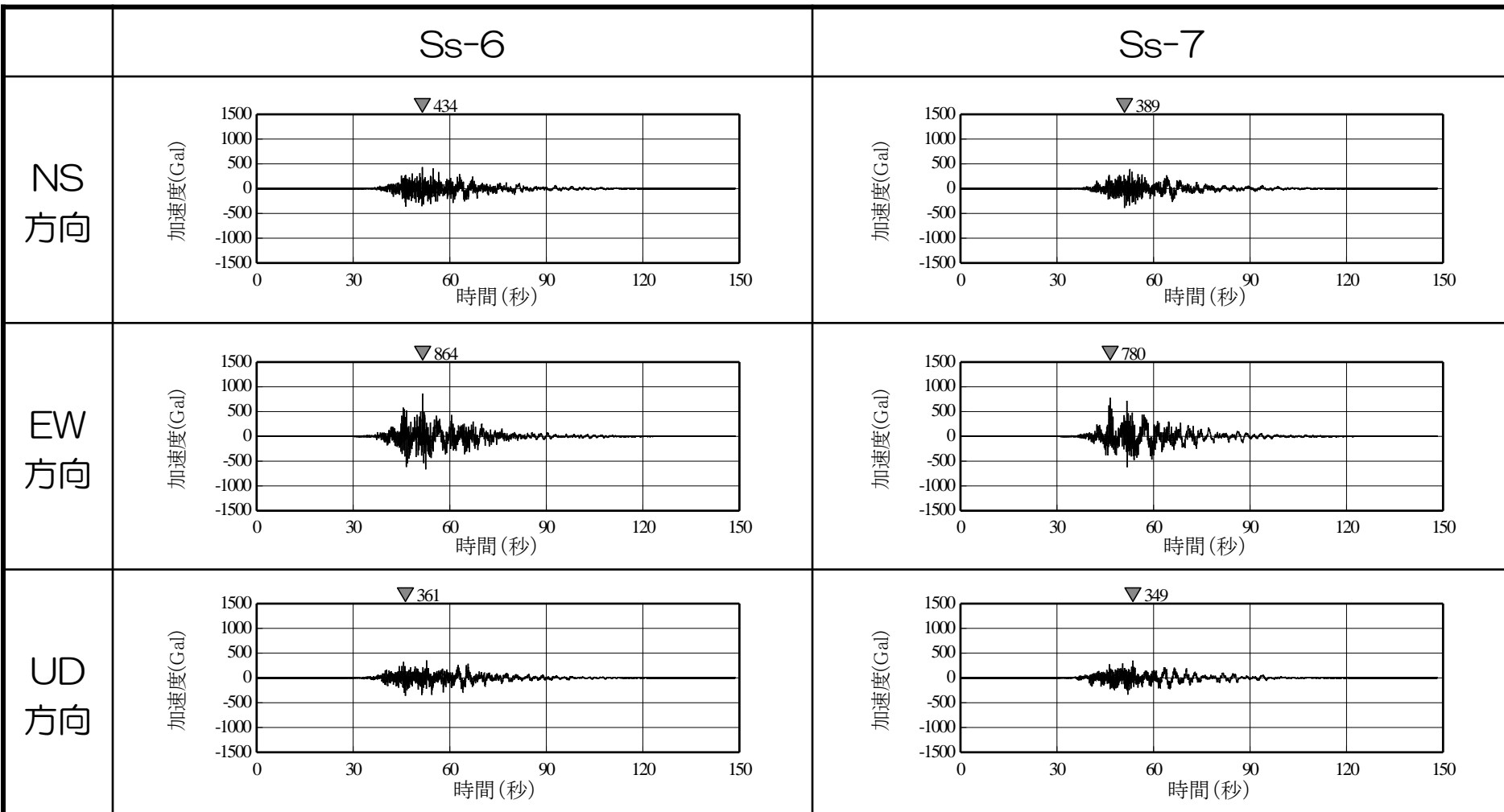
基準地震動Ss-3, 4, 5の加速度時刻歴波形



# 基準地震動の策定 加速度時刻歴波形 その6

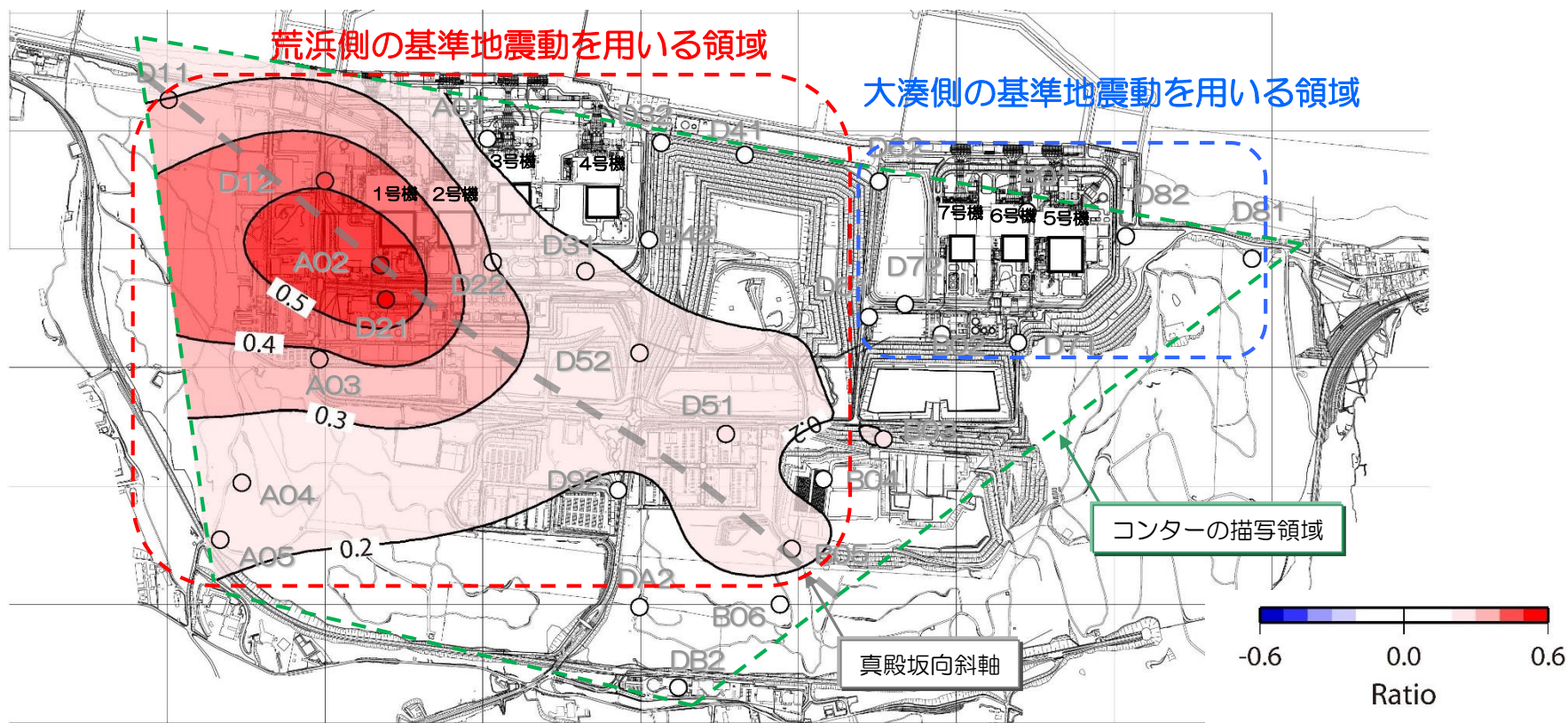
大湊側

基準地震動Ss-6, 7の加速度時刻歴波形



# 施設の耐震安全性評価に用いる基準地震動について

- 水平アレイ観測記録から、南西から到来する地震波の増幅特性は敷地内において異なることが確認される。
- そのため、施設の耐震安全性評価に用いる基準地震動は、原則として以下の方針とする。
  - 地震波の著しい増幅が認められた領域を含む赤点線部は、荒浜側の基準地震動を用いる。
  - その他の青点線部の領域は、大湊側の基準地震動を用いる。
  - なお、現状、判断にあたり十分なデータが得られていない領域については、周辺の地盤調査結果や地震観測記録等を参照し、必要に応じて追加で地震観測を実施するなど検討したうえで、適切な基準地震動を用いる。





## 1. 地震発生層の設定

## 2. 検討用地震の選定

- 2.1 孤立した短い活断層
- 2.2 副次的な断層等
- 2.3 被害地震の選定
- 2.4 検討用地震の選定

## 3. F-B断層による地震の地震動評価

- 3.1 震源モデルの設定と不確かさの考え方
- 3.2 応答スペクトルに基づく地震動評価
- 3.3 断層モデルを用いた手法による地震動評価
- 3.4 評価の妥当性に関する検討

## 4. 長岡平野西縁断層帯による地震の地震動評価

- 4.1 震源モデルの設定と不確かさの考え方
- 4.2 応答スペクトルに基づく地震動評価
- 4.3 断層モデルを用いた手法による地震動評価
- 4.4 評価の妥当性に関する検討

## 5. 基準地震動の策定

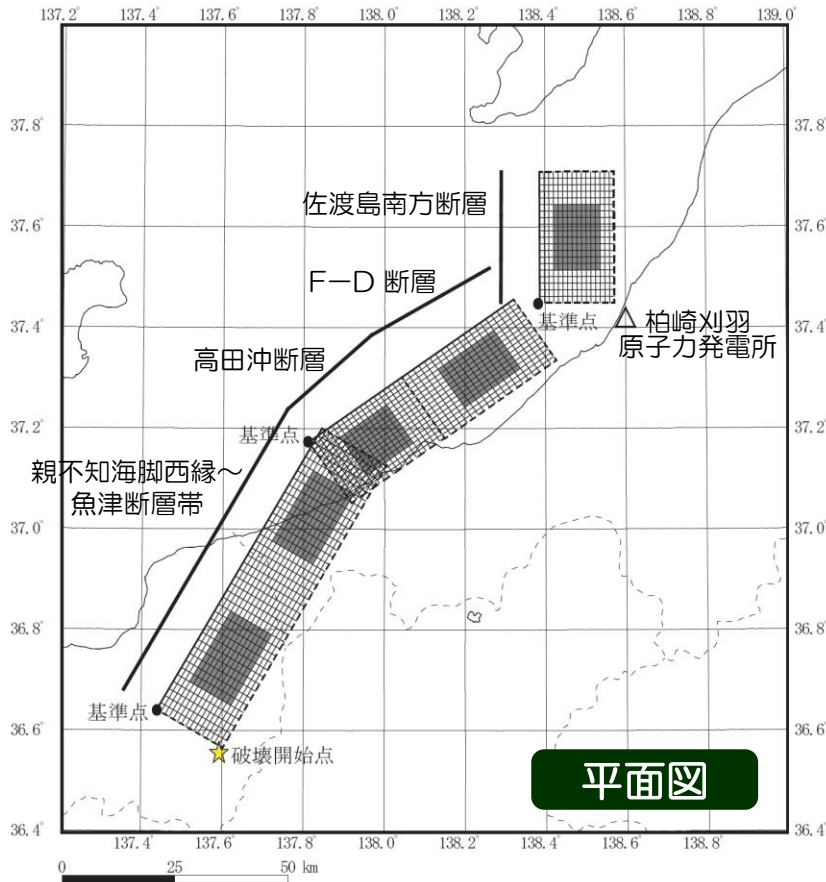
## 6. 佐渡島南方～魚津断層帯による地震の地震動評価

# 佐渡島南方～F-D～高田沖～親不知海脚西縁～魚津断層帯による地震 震源モデルの設定・断層モデル

## 震源モデルの設定方針

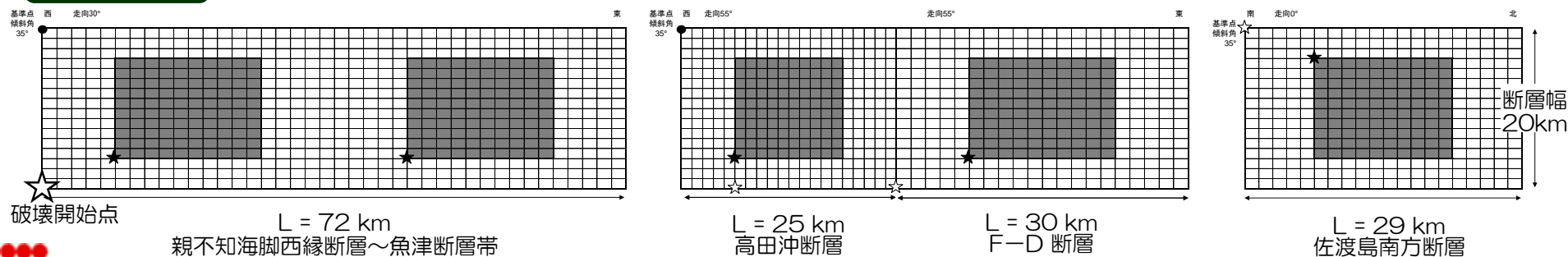
- 佐渡島南方～F-D～高田沖～親不知海脚西縁～魚津断層帯までの連動を考慮したケース（断層長さ156km）を評価。
- 断層の傾斜角は、F-D断層、高田沖断層の地質調査結果及び中越沖地震の断層傾斜角を参考に $35^\circ$ と設定。
- 地震発生層は、速度構造や精密余震分布等に基づき、上端深さを6km、下端深さを17kmと設定。

## 断層モデル



平面図

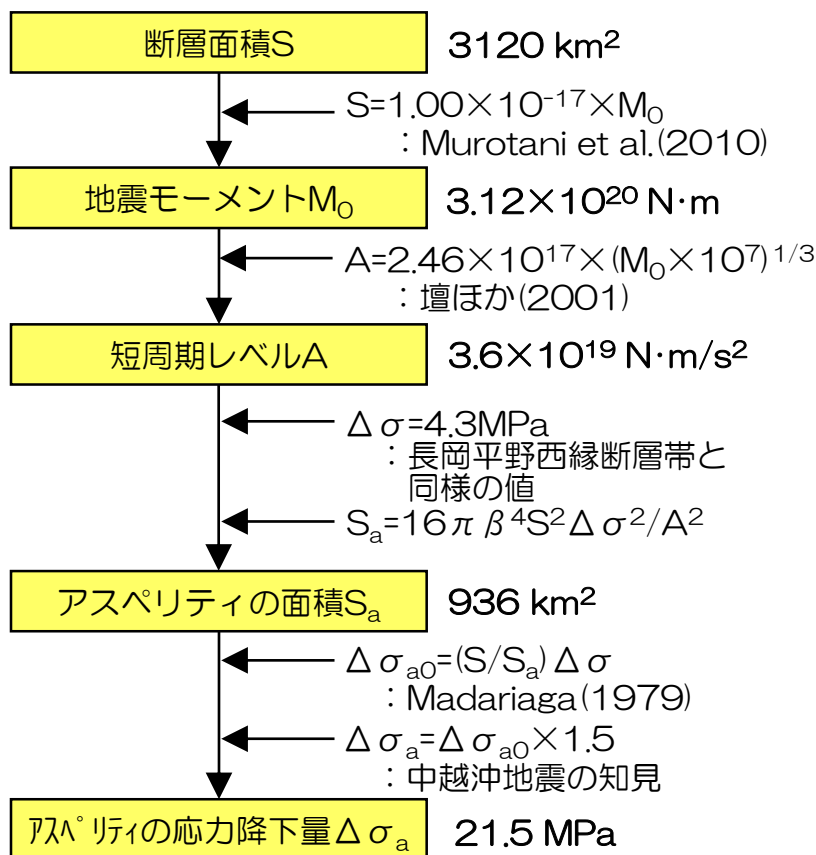
## 断面図



# 佐渡島南方～F-D～高田沖～親不知海脚西縁～魚津断層帯による地震断層パラメータの設定

■ 微視的断層パラメータは、著しく長大となることから、陸域の地震動評価で採用した方法と同様の考え方で設定した上で、応力降下量1.5倍を考慮。

## 設定フロー



## 断層パラメータ

項目		設定値				
		全体	佐渡島南方断層	F-D断層	高田沖断層	親不知～魚津断層帯
基準点	東経(°)	—	138.39	137.81	137.44	
	北緯(°)	—	37.45	37.17	36.64	
巨視的断層面	断層上端深さ(km)	6				
	断層長さ(km)	156	29	30	25	72
	断層幅(km)	20				
	断層面積(km <sup>2</sup> )	3120	580	600	500	1440
	走向(°)	—	0	55	30	
	傾斜角(°)	35				
	S波速度(km/s)	3.4				
	破壊伝播速度(km/s)	2.4				
	地震モーメント(×10 <sup>19</sup> N·m)	31.2	5.80	6.00	5.00	14.4
	アスペリティ	面積(km <sup>2</sup> )	936	174	180	150
地震モーメント(×10 <sup>19</sup> N·m)		18.7	3.48	3.60	3.00	8.64
平均すべり量(cm)		641				
応力降下量(MPa)		1.5倍	21.5			
背景領域	面積(km <sup>2</sup> )	2184	406	420	350	1008
	地震モーメント(×10 <sup>19</sup> N·m)	12.5	2.32	2.40	2.00	5.76
	平均すべり量(cm)	183				
	実効応力(MPa)	1.5倍	5.1	4.1	4.1	3.8

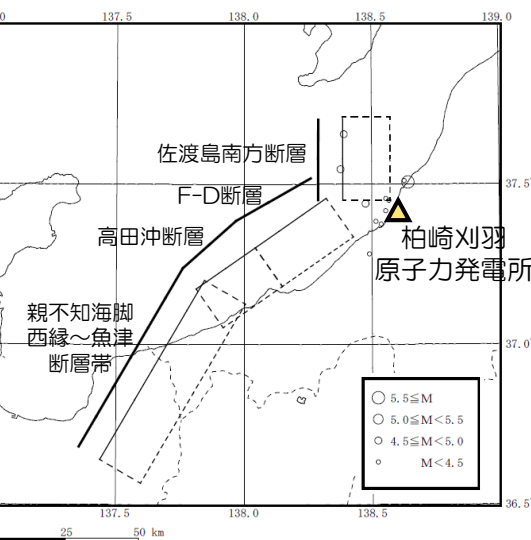
- : 地質調査結果等に基づく
- : 強震動予測レシビに基づく
- : Murotani et al.(2010)に基づく
- : 中越沖地震の知見を反映し、設定した応力降下量の1.5倍を考慮

# 佐渡島南方～F-D～高田沖～親不知海脚西縁～魚津断層帯による地震 断層モデルを用いた手法による地震動評価

- 想定した震源域で発生した中小地震を要素地震として経験的グリーン関数法で評価することにより、地震波の伝播特性を適切に反映する。
- 経験的グリーン関数法に用いる要素地震は、佐渡島南方断層の想定断層面周辺で発生した中越沖地震の余震を採用。F-D断層、高田沖断層、親不知海脚西縁～魚津断層帯の想定断層面上で発生した地震の記録が得られていないことから、佐渡島南方断層と同様の要素地震を採用。
- なお、荒浜側の評価では、F-D断層、高田沖断層、親不知海脚西縁～魚津断層帯に設定するアスペリティに割り当てる要素地震は、中越沖地震の第3アスペリティの特性を踏まえた補正波を用いる。

## 要素地震の震源パラメータ

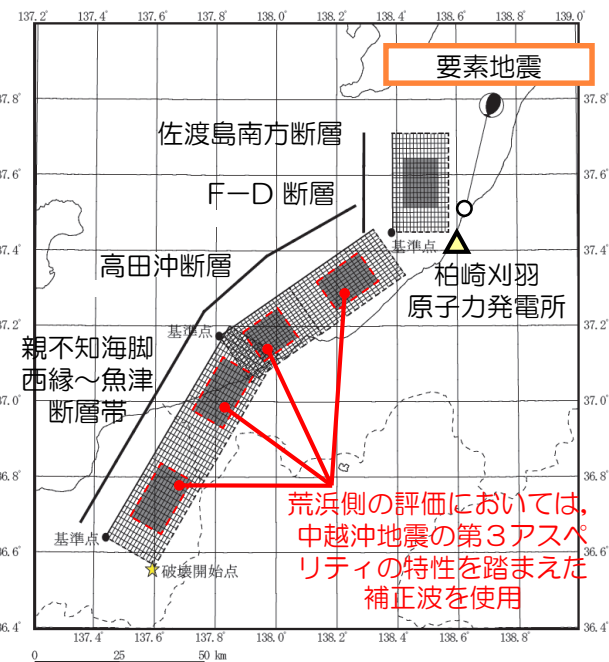
発生日時	2007/7/16 21:08		備考
マグニチュード	$M_j$	4.4	気象庁
	$M_w$	4.4	F-net
震源位置	東経(°)	138.63	気象庁
	北緯(°)	37.51	気象庁
震源深さ(km)	13.6	余震分布を踏まえ設定	
走向(°)	187; 39	F-net	
傾斜(°)	54; 41	F-net	
すべり角(°)	70; 115	F-net	
地震モーメント(N・m)	$5.21 \times 10^{15}$	F-net	
コーナー周波数(Hz)	1.65	Brune(1970)式	
実効応力(MPa)	4.6	芝(2008)	
Q値	$76 f^{0.74}$	岩田ほか(2005)	



### 【整理条件】

- 地震規模M4以上
- F-netでメカニズム解が求められているもの。
- 震源の深さ0～30km
- 荒浜側、大湊側で記録が得られているもの
- 震源の見積もりを適切に行うために周辺観測点で記録が取得されているもの
- 断層面の想定位置で生じているもの

### 想定断層面と地震の発生状況

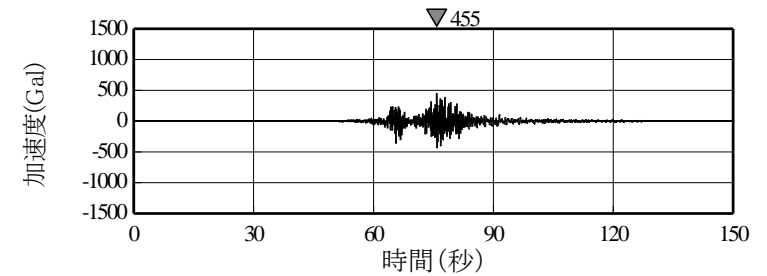
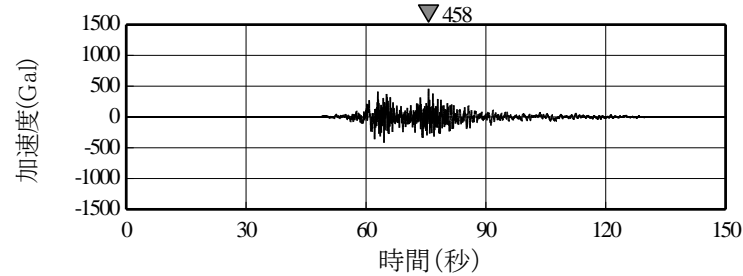


# 佐渡島南方～F-D～高田沖～親不知海脚西縁～魚津断層帯による地震 地震動評価結果 加速度時刻歴波形

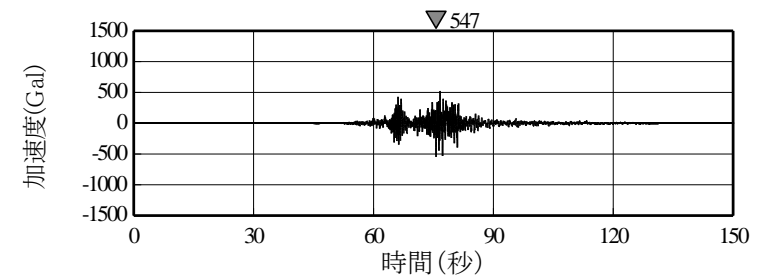
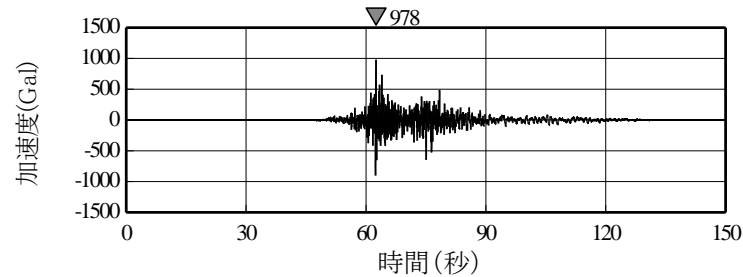
荒浜側

大湊側

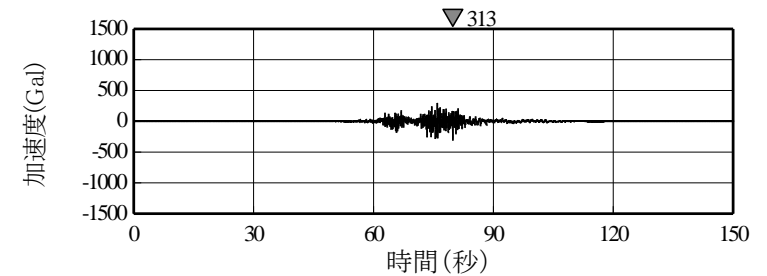
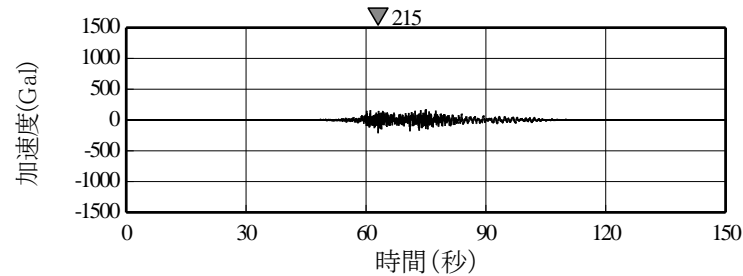
NS  
方向



EW  
方向



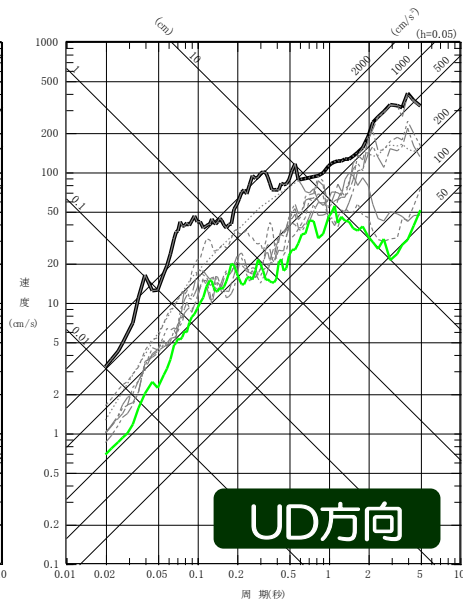
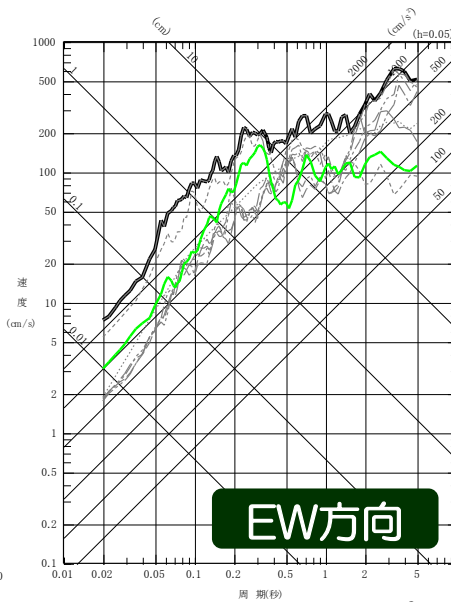
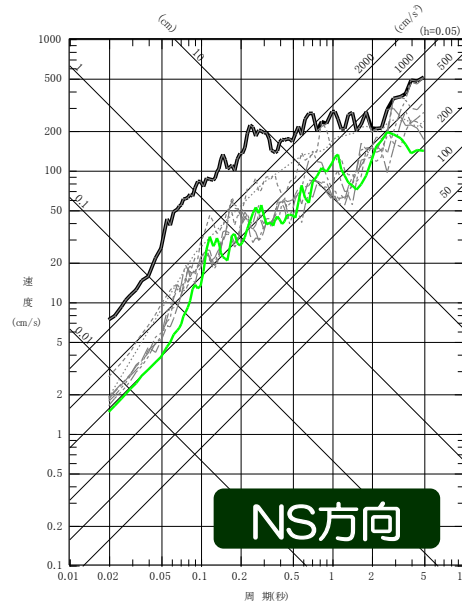
UD  
方向



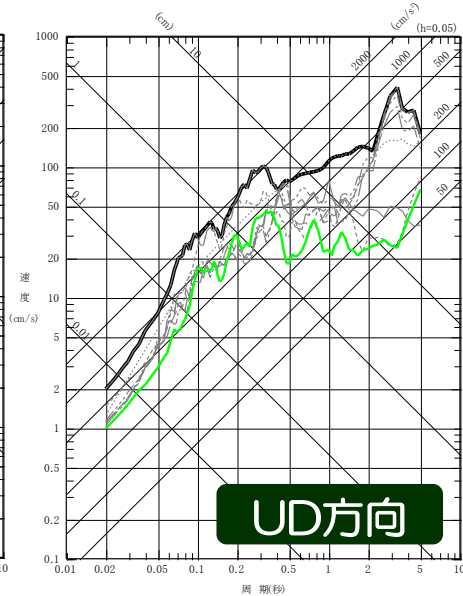
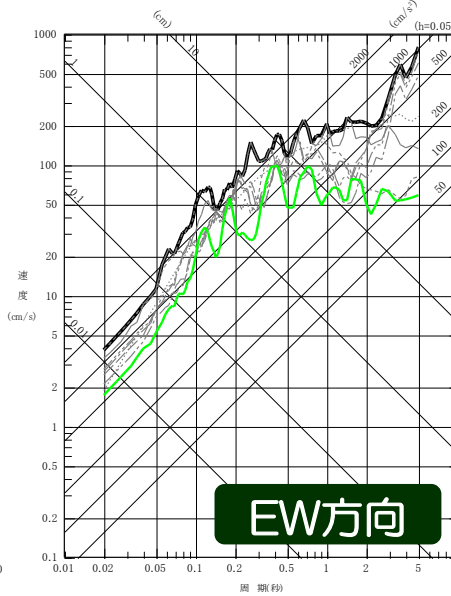
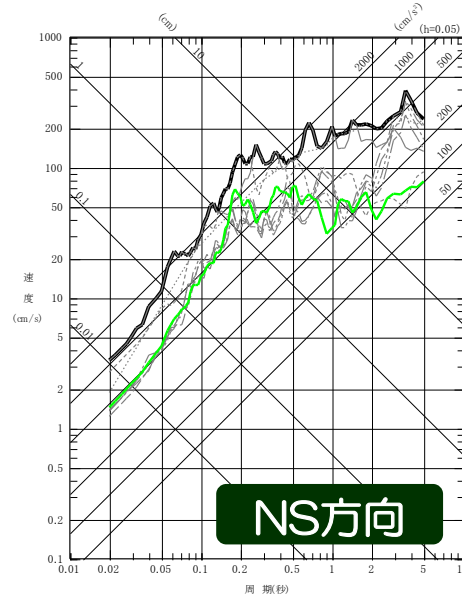
# 佐渡島南方～F-D～高田沖～親不知海脚西縁～魚津断層帯による地震 地震動評価結果 擬似速度応答スペクトル

## 荒浜側

■ 佐渡島南方～F-D～高田沖～親不知海脚西縁～魚津断層帯による地震の地震動評価結果は、基準地震動を著しく超過する地震動レベルでは無く、敷地における基準地震動の策定に大きな影響を与えるものではないと考えられる。



## 大湊側



- 基準地震動Ssの包絡スペクトル
- 基準地震動Ss-1
- - - 基準地震動Ss-2
- ..... 基準地震動Ss-3
- 基準地震動Ss-4
- - - 基準地震動Ss-5
- ..... 基準地震動Ss-6
- 基準地震動Ss-7
- 佐渡島南方～魚津断層帯による地震

# 参考文献

- Abe, K. (1975) : Re-examination of the fault model for the Niigata earthquake of 1964, JPE, 23
- Aoi, S., H. Sekiguchi, N. Morikawa, and T. Kunugi(2008) : Source process of the 2007 Niigata-ken Chuetsu-oki earthquake derived from near-fault strong motion data, Earth, Planets and Space, Vol.60
- Asano K. and T. Iwata(2006) : Source process and near-source ground motions of the 2005 West Off Fukuoka Prefecture earthquake, Earth, Planets and Space, Vol.58
- Asano, K., and T. Iwata(2009) : Source Rupture Process of the 2004 Chuetsu, Mid-Niigata Prefecture, Japan, Earthquake Inferred from Waveform Inversion with Dense Strong-Motion Data, Bulletin of the Seismological Society of America, Vol.99
- Boore, D. M. (1983) : Stochastic Simulation of High-Frequency Ground Motions based on Seismological Models of the Radiated Spectra, Bulletin of the Seismological Society of America, Vol.73
- Boore D. M. and Boatwright (1984) : Average body wave radiation coefficient, Bulletin of the Seismological Society of America, Vol.74
- Brune (1970) : Tectonic Stress and Spectra of Seismic Shear Waves from Earthquakes, Journal of Geophysical Research, Vol.75
- DAN, K., T. WATANABE, and T. TANAKA(1989) : A SEMI-EMPIRICAL METHOD TO SYNTHESIZE EARTHQUAKE GROUND MOTIONS BASED ON APPROXIMATE FAR-FIELD SHEAR-WAVE DISPLACEMENT, 日本建築学会構造系論文報告集, 第396号
- Eshelby, J. D. (1957) : The determination of the elastic field of an ellipsoidal inclusion, and related problems, Proceedings of the Royal Society, A241
- Faccioli, E. (1986) : A study of strong motions from Italy and Yugoslavia in terms of gross source properties, Geophys. Monograph,37, Maurice Ewing, AGU, 6
- Fujii, Y., and M. Matsu'ura (2000) : Regional Difference in Scaling Laws for Large Earthquakes and its Tectonic Implication, Pure and Applied Geophysics, 157
- Gardner, G. H. F., L. W. Gardner, and A. R. Gregory (1974) : Formation Velocity and Density –The Diagnostic Basics for Stratigraphic Traps, Geophysics, Vol.39
- Geller, R.J. (1976) : Scaling relations for earthquake source parameters and magnitudes, Bulletin of the Seismological Society of America, Vol.66
- Hikima, K., and K. Koketsu (2005) : Rupture processes of the 2004 Chuetsu (mid-Niigata prefecture) earthquake, Japan : A series of events in a complex fault system, GEOPHYSICAL RESEARCH LETTERS, VOL.32
- Honda, R., and S. Aoi (2009) : Array Back-Projection Imaging of the 2007 Niigataken Chuetsu-oki Earthquake Striking the World's Largest Nuclear Power Plant, Bulletin of the Seismological Society of America, Vol.99
- Honda, R., S. Aoi, N. Morikawa, H. Sekiguchi, T. Kunugi, and H. Fujiwara (2005) : Ground motion and rupture process of the 2004 Mid Niigata Prefecture earthquake obtained from strong motion data of K-NET and KiK-net, Earth, Planets and Space, Vol.57
- Kamae, K., and H. Kawabe (2008) : SOURCE MODELING AND STRONG GROUND MOTION SIMULATION OF THE 2007 NIIGATAKEN CHUETSU-OKI EARTHQUAKE (Mj=6.8) IN JAPAN, The 14th World Conference on Earthquake Engineering
- Kamae, K., T. Ikeda, and S. Miwa (2005) : Source model composed of asperities for the 2004 Mid Niigata Prefecture, Japan, earthquake (MJMA=6.8) by the forward modeling using the empirical Green's function method, Earth, Planets and Space, Vol.57
- Kato, A., E. Kurashimo, T. Igarashi, S. Sakai, T. Iidaka, M. Shinohara, T. Kanazawa, T. Yamada, N. Hirata, and T. Iwasaki (2009) : Reactivation of ancient rift systems triggers devastating intraplate earthquakes, GEOPHYSICAL RESEARCH LETTERS, VOL.36
- Katsumata (2010) : Depth of the Moho discontinuity beneath the Japanese islands estimated by travelttime analysis, JOURNAL OF GEOPHYSICAL RESEARCH, VOL. 115, B04303
- Kobayashi R., S. Miyazaki, and K. Koketsu(2006) : Source processes of the 2005 West Off Fukuoka Prefecture earthquake and its largest aftershock inferred from strong motion and 1-Hz GPS data, Earth, Planets and Space, Vol.58
- Madariaga (1979) : On the relation between seismic moment and stress drop in the presence of stress and strength heterogeneity, Journal of Geophysical Research, Vol.84
- Miyake, H., K. Koketsu, K. Hikima, M. Shinohara, and T. Kanazawa (2010) : Source Fault of the 2007 Chuetsu-oki, Japan, Earthquake, Bulletin of the Seismological Society of America, Vol.100
- Murotani, S., S. Matsushima, T. Azuma, K. Irikura, S. Kitagawa (2010) : Scaling relations of earthquakes on inland active mega-fault systems, 2010 AGU Fall Meeting, S51A-1911.

# 参考文献

- Nakamura, T., Y. Ishihara, Y. Yamanaka, and Y. Kaneda (2009) : Source process for complex fault system of the 2007 Chuetsu-oki, Niigata, Japan, earthquake, Earth, Planets and Space, Vol.61
- Noda, S., K. Yashiro, K. Takahashi, M. Takemura, S. Ohno, M. Tohdo, and T. Watanabe (2002) : RESPONSE SPECTRA FOR DESIGN PURPOSE OF STIFF STRUCTURES ON ROCK SITES, OECD-NEA Workshop on the Relations between Seismological DATA and Seismic Engineering, Oct.16-18, Istanbul
- Sakai S., N. Hirata, A. Kato, E. Kurashimo, T.Iwasaki, and T. Kanazawa (2005) : Multi-fault system of the 2004 Mid-Niigata Prefecture Earthquake and its aftershocks, Earth, Planets and Space, Vol.57
- Satake, K. (1986) : Re-examination of the 1940 Shakotan-Oki earthquake and the fault parameters of the earthquakes along the eastern margin of the Japan Sea, PEPI, 43
- Sato, T. (1985) : Rupture characteristics of the 1983 Nihonkai-Chubu (Japan Sea) earthquake as inferred from strong motion accelerograms, JPE, 33
- Sekiguchi H., S. Aoi, R. Honda, N. Morikawa, T. Kunugi, and H. Fujiwara (2006) : Rupture process of the 2005 west off Fukuoka prefecture earthquake obtained from strong motion data of K-NET and KiK-net, Earth, Planets and Space, Vol.58
- Somerville, P. G., K. Irikura, R. Graves, S. Sawada, D. Wald, N. Abrahamson, Y. Iwasaki, T. Kagawa, N. Smith, and A. Kowada(1999) : Characterizing crustal earthquake slip models for the prediction of strong ground motion, Seismological Research Letters, 70.
- Tanioka, Y., K. Satake, and L. Ruff (1995) : Total analysis of the 1993 Hokkaido Nansei-oki earthquake using seismic wave, tsunami, and geodetic data, GRL, 22
- Zhao, D., A. Hasegawa, and H. Kanamori (1994) : Deep structure of Japan subduction zone as derived from local, regional, and teleseismic events, JOURNAL OF GEOPHYSICAL RESEARCH, VOL.99, NO.B11
- 相田勇(1989) : 天保四年の庄内地震による津波に関する数値実験, 「続古地震—実像と虚像」萩原尊禮編, 東京大学出版会
- 青井真, 関口春子, 森川信行, 功刀卓, 白坂光行(2007): 近地地震動記録による2007年新潟県中越沖地震の震源インバージョン(暫定版), [http://www.k-net.bosai.go.jp/k-net/topics/chuetsuoki20070716/inversion/ksw\\_ver070816\\_NIED\\_Inv.pdf](http://www.k-net.bosai.go.jp/k-net/topics/chuetsuoki20070716/inversion/ksw_ver070816_NIED_Inv.pdf) (2010年3月27日参照)
- 青井真, 本多亮, 森川信之, 関口春子, 功刀卓, 藤原広行(2005) : 2004年新潟県中越地震(10月23日17時56分)の地震動と震源過程, 地震予知連絡会 会報 第73巻
- 入江紀嘉, 壇一男, 烏田晴彦, 加瀬祐子(2013) : 長大断層を対象とした逆断層型内陸地震の動的応力降下量の算定式の検討, 日本地震工学会第10回年次大会梗概集
- 入倉孝次郎(2006) : 強震動地震学の発展の歴史とレシピアへの展開, 第34回地盤震動シンポジウム, 日本建築学会
- 入倉孝次郎, 香川敬生, 宮腰研, 倉橋奨(2008) : 2007年新潟県中越沖地震の強震動—なぜ柏崎刈羽原子力発電所は想定以上の破壊的強震動に襲われたのか?—2008年03月19日再修正版, [http://www.kojiro-irikura.jp/pdf/cyuetsu\\_080319.pdf](http://www.kojiro-irikura.jp/pdf/cyuetsu_080319.pdf)
- 入倉孝次郎, 三宅弘恵(2004) : シナリオ地震の強震動評価, 地学雑誌, 110
- 岩田知孝, 森勇人, 川瀬博(2005) : スペクトルインバージョンによる強震観測点サイトの非線形性の抽出, 平成16年(2004年)新潟県中越地震に関する緊急調査研究報告書
- 宇佐美龍夫(1996) : 新編日本被害地震総覧 [増補改訂版], 東京大学出版会
- 宇佐美龍夫(2003) : 最新版 日本被害地震総覧 [416]-2001, 東京大学出版会
- 宇佐美龍夫, 石井寿, 今村隆正, 今村雅之, 松浦律子(2013) : 日本被害地震総覧 599-2012, 東京大学出版会
- 大竹政和, 平朝彦, 太田陽子(2002) : 日本海東縁の活断層と地震テクトニクス, 東京大学出版会
- 勝又護, 徳永規一(1971) : 震度IVの範囲と地震の規模および震度と加速度の対応, 験震時報, 第36巻
- 釜江克宏・川辺秀憲(2008) : 2007年新潟県中越沖地震(M<sub>j</sub>6.8)の震源のモデル化と強震動シミュレーション, [http://www.rri.kyoto-u.ac.jp/jishin/eq/niigata\\_chuetsuoki\\_5/chuetsuoki\\_20080307.pdf](http://www.rri.kyoto-u.ac.jp/jishin/eq/niigata_chuetsuoki_5/chuetsuoki_20080307.pdf) (2010年3月27日参照)
- 川瀬博(1998) : 断層近傍強震動の地下構造による増幅プロセスと構造物破壊—1995年兵庫県南部地震での震災帯の成因に学ぶ—, 第10回日本地震工学シンポジウム
- 神原浩, 松島信一, 早川崇, 福喜多輝(2006) : 2004年新潟県中越地震の余震観測記録に基づく本震時の震源域の強震動推定, 清水建設研究報告 第83号
- 気象庁 : 地震年報2011年版, 地震・火山月報ほか
- 気象庁, 消防庁(2009) : 震度に関する検討会報告書
- 木下繁夫, 大竹政和 監修(2000) : 強震動の基礎, <http://www.kyoshin.bosai.go.jp/kyoshin/gk/publication/>



# 参考文献

- 原子力安全委員会(2009)：「応答スペクトルに基づく地震動評価」に関する専門家との意見交換会，資料第1-1号 耐専スペクトルの概要（1999年時点での内容），<http://www.nsr.go.jp/archive/nsc/senmon/shidai/ohyoiken/1/siryu-1.pdf>
- 原子力安全委員会(2009)：原子力安全委員会 地震動解析技術等作業会合 平成21年9月18日 資料第1号，<https://www.nsr.go.jp/archive/nsc/senmon/shidai/kaisekigijutu/kaisekigijutu22/siryu1.pdf>
- 原子力規制委員会(2013)：実用発電用原子炉及びその附属施設の位置，構造及び設備の基準に関する規則
- 原子力規制委員会(2013)：基準地震動及び耐震設計方針に係る審査ガイド
- 原子力規制委員会(2013)：敷地内及び敷地周辺の地質・地質構造調査に係る審査ガイド
- 原子力規制庁(2015)：平成26年度 事後評価調査票 (D05) 福島第一事故を踏まえた震源近傍の地震動評価の高度化
- 構造計画研究所(2010)：内陸地殻内地震における短周期レベルの地域的な整理・分析業務，原子力安全委員会平成21年度業務委託報告書
- 小林喜久二，植竹富一，土方勝一郎(2005)：地震動の水平／上下スペクトル振幅比の逆解析による地下構造推定法の標準化に関する検討，日本建築学会大会学術講演梗概集，B-2，構造Ⅱ
- 坂井公俊，野津厚(2011)：2004年新潟県中越地震の特性化震源モデルと経験的サイト増幅・位相特性を考慮した強震動シミュレーション，日本地震工学会論文集，第11巻
- 佐藤智美(2000)：観測記録に基づく地震波放射特性の周波数依存性の分析とモデル化に関する検討，日本建築学会大会学術講演梗概集，構造Ⅱ
- 佐藤智美(2010)：逆断層と横ずれ断層の違いを考慮した日本の地殻内地震の短周期レベルのスケーリング則，日本建築学会構造系論文集，第651号
- 佐藤智美，岡崎敦(2008)：2007年新潟県中越沖地震と2004年新潟県中越地震の短周期レベル及びアスペリティ総面積のスケーリング，2008年度日本地震学会講演予稿集
- 佐藤智美，川瀬博，佐藤俊明(1994)：ボアホール観測記録を用いた表層地盤同定手法による工学的基盤波の推定及びその統計的経時特性，日本建築学会構造系論文集，461
- 佐藤智美，壇一男，岡崎敦，羽田浩二(2007)：若狭湾周辺の地殻内地震の記録を用いた $\kappa$ 因子解析，2007年度日本地震学会講演予稿集
- 佐藤智美，土方勝一郎，植竹富一，徳光亮一，壇一男(2007)：広帯域震源インバージョンによる2004年新潟県中越地震の大加速度に関する研究（その2） 中・短周期震源インバージョン，日本建築学会大会学術講演梗概集
- 佐藤比呂志，岩崎貴哉，石山達也，蔵下英司，加藤直子(2014)：沿岸海域および海陸統合構造調査，平成25年度「日本海地震・津波調査プロジェクト」成果報告書
- 佐藤良輔 編著(1989)：日本の地震断層パラメーター・ハンドブック，鹿島出版会
- 地震調査研究推進本部(2003)：日本海東縁部の地震活動の長期評価について，地震調査委員会資料
- 地震調査研究推進本部(2004)：長岡平野西縁断層帯の長期評価について，地震調査委員会資料
- 地震調査研究推進本部(2005)：山崎断層帯の地震を想定した強震動評価について，地震調査委員会資料
- 地震調査研究推進本部(2007)：2007年10月の地震活動の評価
- 地震調査研究推進本部(2008)：2005年福岡県西方沖の地震の観測記録に基づく強震動評価手法の検証
- 地震調査研究推進本部(2008)：平成19年(2007年)新潟県中越沖地震の評価，地震調査委員会資料
- 地震調査研究推進本部(2009)：「全国地震動予測地図」報告書
- 地震調査研究推進本部(2010)：「全国地震動予測地図 2010年版」報告書
- 地震調査研究推進本部(2010)：「活断層の長期評価手法（暫定版）」報告書
- 芝良昭(2006)：2004年新潟県中越地震の震源過程の解明—広帯域震源インバージョンの適用—，電力中央研究所報告，研究報告：N05023
- 芝良昭(2008)：2007年新潟県中越沖地震の震源過程の解明と広帯域強震動評価，電力中央研究所報告，研究報告：N08007
- 社団法人 日本建築学会(2005)：地盤震動—現象と理論—
- 社団法人 日本電気協会 原子力規格委員会(2008)：原子力発電所耐震設計技術指針(JEAG4601-2008)
- 染井一寛，浅野公之，岩田知孝(2010)：ひずみ集中帯内外で発生した地殻内地震系列間の震源特性の比較，第13回日本地震工学シンポジウム
- 第218回原子力発電所の新規制基準適合性に係る審査会合 資料1 柏崎刈羽原子力発電所6号炉及び7号炉 敷地周辺陸域の地質・地質構造  
<http://www.nsr.go.jp/data/000103418.pdf>
- 第248回原子力発電所の新規制基準適合性に係る審査会合 資料2-1 柏崎刈羽原子力発電所6号炉及び7号炉 敷地周辺陸域の地質・地質構造について  
<http://www.nsr.go.jp/data/000114308.pdf>
- 第248回原子力発電所の新規制基準適合性に係る審査会合 資料2-3 柏崎刈羽原子力発電所6号炉及び7号炉 敷地周辺海域の地質・地質構造について  
<http://www.nsr.go.jp/data/000114306.pdf>

# 参考文献

- ・第266回原子力発電所の新規制基準適合性に係る審査会合 資料1 柏崎刈羽原子力発電所6号炉及び7号炉 地震波の増幅特性について <https://www.nsr.go.jp/data/000119766.pdf>
- ・武村雅之(1990): 日本列島およびその周辺地域に起こる浅発地震のマグニチュードと地震モーメントの関係, 地震 第2輯 第43巻
- ・武村雅之(1998): 日本列島における地殻内地震のスケーリング則 -地震断層の影響および地震被害との関連-, 地震 第2輯 第51巻
- ・壇一男, 入江紀嘉, 具典淑, 島津奈緒未, 鳥田晴彦(2015): 長大な逆断層による内陸地震の断層モデルのパラメータの設定方法の提案, 日本建築学会構造系論文集, 第80巻, 第707号
- ・壇一男, 佐藤俊明, 入倉孝次郎(2002):  $\Delta\sigma$  リンゲルに基づく強震動予測のための震源モデルの特性化手法, 第11回日本地震工学シンポジウム
- ・壇一男, 渡辺基史, 佐藤俊明, 石井透(2001): 断層の非一様すべり破壊モデルから算定される短周期レベルと半経験的波形合成法による強震動予測のための震源断層のモデル化, 日本建築学会構造系論文集, 第545号
- ・独立行政法人 産業技術総合研究所: 産総研 活断層データベース, <https://gbank.gsj.jp/activefault/>
- ・独立行政法人 産業技術総合研究所: 地下構造可視化システム—活断層の地下構造— [https://gbank.gsj.jp/subsurface/tec\\_term.html](https://gbank.gsj.jp/subsurface/tec_term.html)
- ・独立行政法人 防災科学技術研究所: J-SHIS地震ハザードステーション, <http://www.j-shis.bosai.go.jp/>
- ・独立行政法人 防災科学技術研究所: 強震観測網(K-NET, KiK-net), <http://www.kyoshin.bosai.go.jp/>
- ・独立行政法人 防災科学技術研究所: 広帯域地震観測網(F-net), <http://www.fnet.bosai.go.jp/>
- ・独立行政法人 防災科学技術研究所(2009~2013): ひずみ集中帯の重点的調査観測・研究プロジェクト
- ・南雲秀樹, 植竹富一(2012): 2011年3月12日長野県北部の地震(M<sub>j</sub>6.7)の短周期レベルの推定, 日本地震学会講演予稿集, 2012年度秋季大会
- ・引間和人, 瀬藤一起(2008): 波形記録と測地データを用いた2007年新潟県中越沖地震の震源過程解析, 日本地球惑星科学連合大会予稿集
- ・堀川晴央(2005): 再決定震源と強震記録による2004年中越地震の断層モデル, 地球惑星科学関連学会2005年合同大会予稿集
- ・松島信一, 川瀬博(2000): 1995年兵庫県南部地震の複数アスペリティモデルの提案とそれによる強震動シミュレーション, 建築学会構造系論文集, 第534号
- ・松島信一, 川瀬博(2006): 1995年兵庫県南部地震の震源近傍強震動および震災帯の再評価, 日本建築学会大会学術講演梗概集(関東), B-2, 構造II
- ・松田時彦(1975): 活断層から発生する地震の規模と周期について, 地震 第2輯 第28巻
- ・松村郁栄(1969): 震度分布と地震のマグニチュードとの関係, 岐阜大学教育学部研究報告, 自然科学, 第4巻
- ・宮腰淳一, 中田猛, 福和伸夫, 柴田昭彦, 白瀬陽一, 斎藤賢二(2004): 名古屋市三の丸地区における耐震改修用の基盤地震動の作成, 日本地震工学会大会梗概集
- ・野津厚(2005): 2004年新潟県中越地震の震源モデル -経験的グリーン関数を用いた波形インバージョン-, 地震 第2輯 第58巻
- ・野津厚(2010): 非破壊伝播方向におけるやや短周期パルスへの特性化震源モデルの適用に関する研究—2007年新潟県中越沖地震を例に—, 土木学会論文集A1(構造・地震工学), Vol.66
- ・野津厚, 長尾毅(2005): スペクトルインバージョンに基づく全国の港湾等におけるサイト増幅特性, 港湾空港技術研究所資料, No.1112
- ・八木勇次(2007b): 2007年7月16日新潟県上越沖の地震の震源過程(改訂 ver.2), <http://www.geol.tsukuba.ac.jp/~yagi-y/EQ/2007niigata/index.html> (2010年3月27日参照)
- ・山中佳子(2007b): NGY 地震学ノートNo.2a:2007年7月16日新潟県中越沖地震(M6.8)(遠地解析改訂版+近地解析), [http://www.seis.nagoya-u.ac.jp/sanchu/Seismo\\_Note/2007/NGY2a.html](http://www.seis.nagoya-u.ac.jp/sanchu/Seismo_Note/2007/NGY2a.html) (2010年3月29日参照)
- ・山本容維, 竹中博士(2009): 経験的グリーン関数法を用いた2007年新潟県中越沖地震の震源のモデル化, 地震 第2輯 第62巻